

ИЗВЕСТИЯ

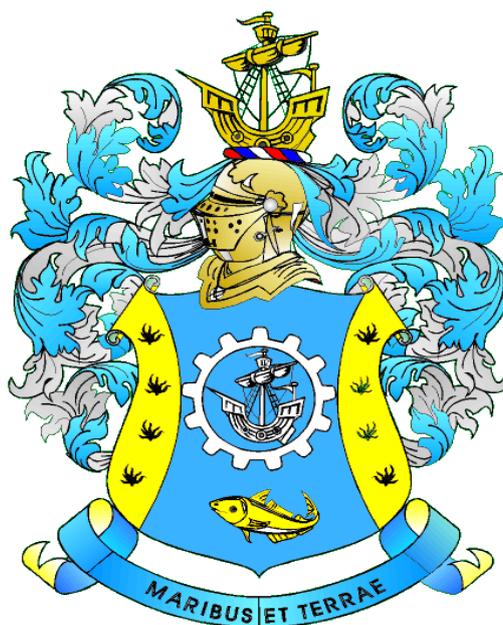
КГТУ

2017

№ 46

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, доцент
Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доцент

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., проректор по НИР ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Заслуж. изобретатель РФ;
А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., ректор Института холода и биотехнологий ФГБОУ ВО «С.-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Заслуж. деятель науки РФ;
А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Заслуж. работник рыбн. хоз- ва РФ;
М. К. Ибатов, д-р техн. наук, проф., ректор Карагандинского государственного технического университета;
В. В. Козловский, д-р экон. наук, проф. кафедры экономики и предпринимательства Белорусского государственного экономического университета;
Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., зав. лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии МГУ им. М. В. Ломоносова, чл.-корр. РАН;
С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., нач. кафедры САЭЭС Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова, Заслуж. деятель науки РФ, акад. РАТ;
О. М. Лапшин, д-р техн. наук, директор ФГУП «Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (КамчатНИРО);
Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительной техники и информационных технологий С.-Петербургского государственного морского технического университета;
В. А. Панфилов, д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева», акад. РАН;
Тадеуш Пецух, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой техники водной очистки и утилизации отходов Кошалинского политехнического университета (Польша);
А. М. Салецкий, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой общей физики МГУ им. М. В. Ломоносова;
Ю. Т. Сечин, д-р биол. наук, проф. кафедры «Биоэкология и ихтиология» Московского государственного университета технологий и управления, Заслуж. деятель науки РФ, Почетный работник рыбн. хоз- ва РФ;
А. С. Холодов, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. директора ФГБУН «Институт автоматизации проектирования РАН», зав. кафедрой мат. моделирования ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт», акад. РАН;
Хугес-Халлетт Эндрю Джонатан, д-р экон. наук, проф. Университета им. Джорджа Масона (штат Вирджиния, США)

Редакционная коллегия:

С. А. Айпеисова, д. б. н., проф.; Б. А. Альтиуль, д. т. н., проф.; Ю. Н. Антипов, д. физ.-мат. н.; проф.; О. А. Анциферова, к. с.-хоз. н., доц.; О. М. Бедарева, д. б. н., проф.; В. Ф. Белей, д. т. н., проф.; Н. Д. Бобарыкин, д. т. н., проф.; В. В. Брюханов, д. физ.-мат. н., проф.; Р. Н. Буруковский, д. б. н., проф.; А. А. Герасимов, д. т. н., проф.; Л. Т. Главинская, д. экон. н., проф.; Л. М. Григорович, к. б. н., доц.; С. В. Дятченко, д. т. н., проф.; А. В. Иванов, д. экон. н., проф.; В. П. Иванов, д. т. н., проф.; О. Я. Мезенова, д. т. н., проф.; В. М. Минько, д. т. н., проф.; А. Г. Мнацаканян, д. экон. н., проф.; А. Б. Муромцев, д. вет. н., проф.; Е. Н. Науменко, д. б. н., доц.; В. А. Наумов, д. т. н., проф.; В. И. Панасин, д. с.-хоз. н., проф.; И. А. Пахнутов, к. физ.-мат. н., доц.; М. М. Розенштейн, д. т. н., проф.; Е. С. Роньжина, д. б. н., проф.; В. И. Саускан, д. б. н., проф.; Н. А. Сберегаев, к. экон. н., проф.; Л. И. Сергеев, д. экон. н., проф.; С. П. Сердобинцев, д. т. н., проф.; Г. Г. Серпунин, д. б. н., проф.; Л. Т. Серпунина, д. т. н., проф.; В. А. Слежкин, к. хим. н., доц.; Сулейманов Р. Х., к. физ.-мат. н., доц.; В. И. Сутырин, д. т. н., проф.; О. С. Сухарев, д. экон. н., проф.; В. П. Терещенко, к. т. н., проф.; И. М. Титова, к. т. н., доц.; А. Б. Тристанов, к. т. н., доц.; Ю. А. Фатыхов, д. т. н., проф.; С. В. Фёдоров, д. т. н., проф.; В. А. Фунтиков, д. хим. н., проф.; Р. Ш. Хаджаев, д. экон. н., проф.; В. И. Шендерюк, д. т. н., проф.; С. В. Шибеев, д. б. н., проф.; В. Н. Эрлихман, д. т. н., проф.; А. В. Юров, д. физ.-мат. н., проф.

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2017



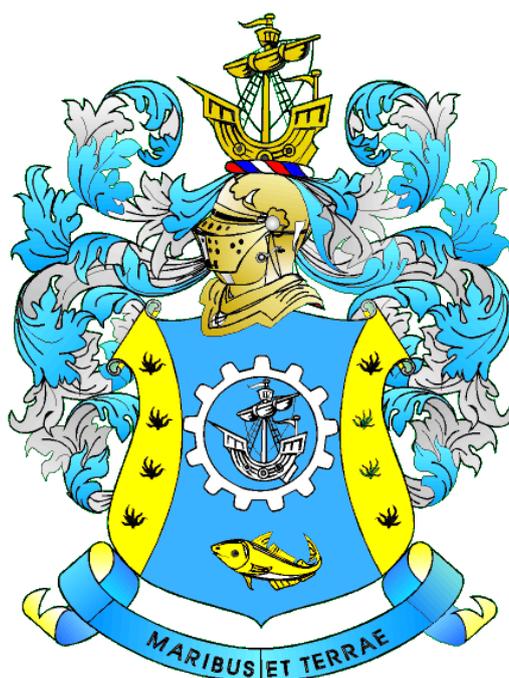
KSTU NEWS

2017

№ 46

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

Домнин Д. А., Чубаренко Б. В. Оценка выноса биогенных веществ с малых водосборных бассейнов Калининградского/Вислинского залива посредством численного моделирования.....	13
Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Кречик В. А. Эволюции гидрохимических структур вод Балтийского моря.....	24
Пелешенко В. А., Розенштейн М. М. Зависимость показателя распорной силы разноглубинных траловых распорных досок от толщины профиля.....	34
Фукс Г. В., Семушин А. В. Максимальный возраст полярной камбалы <i>Liopsetta glacialis</i> , речной камбалы <i>Platichthys flesus</i> и ершоватки <i>Limanda limanda</i> в прибрежных водах Северного рыбохозяйственного бассейна.....	46

Техника и технология пищевых производств

Будченко Н. С., Долгий Н. А. Сравнительный анализ одноконтурной и каскадной систем автоматического регулирования температуры масла в паромасляной печи.....	61
Гаурильчикайте В. В., Анохина О. Н. Обоснование срока хранения замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья.....	72
Максимова С. Н., Слуцкая Т. Н., Полещук Д. В., Пономаренко С. Ю. Технологическая характеристика мороженой сардины тихоокеанской как сырья в технологии соленой продукции.....	81
Самсонов М. В., Винокур М. Л., Андреев М. П. Исследование процесса гидролиза панцирных отходов вареной креветки с использованием протосубтилина.....	90
Эрлихман В. Н., Фатыхов Ю. А. Энергетическая оценка процессов замораживания в воздушных и плиточных морозильных аппаратах.....	100

Сельское хозяйство и природопользование

Бедарева О. М., Троян Т. Н., Мурачёва Л. С., Анциферова О. А., Федюнина О. П., Горшенина Г. В. Освоение залежей под луговые и пастбищные угодья.....	109
--	-----

Судостроение, машиностроение и энергетика

Александров И. С., Герасимов А. А. Корреляция вязкости пропилового спирта как представителя технически важных органических рабочих веществ в диапазоне температур 190-700 К и при давлениях до 100 МПа.....	123
Дёмкин Е. А., Геллер Б. Л. Разработка электрооборудования научно-исследовательского судна «Пионер-М».....	132

<i>Ковальчук Л. И., Соболин В. Н.</i> Экспериментально-теоретические модели для оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами двигателем с принудительным зажиганием при работе на бензине и топливном газе.....	142
<i>Лаврова А. С., Притыкин А. И.</i> Экспериментально-теоретическое исследование жесткости и устойчивости перфорированных балок с круглыми вырезами.....	151

Естественные и математические науки

<i>Волхонская Е. В., Коротей Е. В., Власова К. В., Рушко М. В.</i> Модельное исследование помехоустойчивости приема радиосигналов с QPSK, BPSK, 8PSK и DBPSK.....	165
<i>Мезенцева Л. И., Федулов А. С.</i> Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке.....	175
<i>Прокопьева Д. Б., Жук Т. А., Головкин Н. И.</i> Вывод уравнений для систем массового обслуживания с диффузионной интенсивностью входного потока и нулевым коэффициентом сноса.....	184

Экономика и управление АПК

<i>Корякина А. В., Теплицкий В. А.</i> О необходимости разработки инвестиционных прогнозов для развития рыбного хозяйства.....	195
--	-----

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Domnin D. A., Chubarenko B. V.</i> Nutrient removal assessment from small catchment areas of the Vistula lagoon using numerical modeling.....	13
<i>Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A.</i> Evolution of hydrochemical structures of the Baltic sea waters.....	24
<i>Peleshenko V. A., Rozenshtein M. M.</i> Dependence of the metric push-in force of the midwater trawl boards on the profile thickness.....	34
<i>Fuks G. V., Semushin A. V.</i> Maximum age of the arctic flounder <i>Liopsetta glacialis</i> , european flounder <i>Platichthys flesus</i> and common dab <i>Limanda limanda</i> in the coastal waters of the Northern fishery basin.....	46

Food Production Techniques and Technology

<i>Budchenko N. S., Dolgiy N. A.</i> Comparative analysis of single circuit and cascade automatic oil temperature control systems in a steam-oil oven.....	61
<i>Gaurilchikayte V. V., Anokhina O. N.</i> Justification of the expiration date of the frozen formed semi-finished product from vegetable raw materials.....	72
<i>Maksimova S. N., Slutskaya T. N., Poleschuk D. V., Ponomarenko S. Yu.</i> Technological characteristics of frozen Pacific sardine of as a raw material in the technology of salted products.....	81
<i>Samsonov M. V., Vinokur M. L., Andreev M. P.</i> Study of the hydrolysis process of crustacean waste of boiled shrimps using protosubtilin.....	90
<i>Erlikhman V. N., Fatykhov Ju. A.</i> Energy effectiveness of freezing processes in blast and plate freezes.....	100

Agriculture and Nature Management

<i>Bedareva O. M., Troyan T. N., Murachyova L. S., Anciferova O. A., Fedyunina O. P., Gorshinina G. V.</i> Development of fallows for meadow and pasture lands.....	109
---	-----

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Alexandrov I. S., Gerasimov A. A.</i> Correlation of viscosity of propyl alcohol as a representative of technically important organic working substances within a temperature range from 190 K to 700 K with pressures up to 100 MPa.....	123
<i>Dyomkin E. A., Geller B. L.</i> Development of electrical equipment for research vessel «Pioneer-M».....	132
<i>Kovalchuk L. I., Sobolin V. N.</i> Experimental and theoretical models for estimating emissions of hydrocarbons from exhaust gases with a spark-ignition engine when running on gasoline and fuel gas.....	142

<i>Lavrova A. S., Pritykin A. I.</i> Theoretical and experimental study of rigidity and stability of perforated beams with circular openings.....	151
---	-----

Earth and Mathematical Sciences

<i>Volkhonskaya E. V., Korotey E. V., Vlasova K. V., Rushko M. V.</i> Simulation study of the noise resistance of radiosignals reception with QPSK, BPSK, 8PSK and DBPSK.....	165
<i>Mezentseva L. I., Fedulov A. S.</i> Climate trends of the atmospheric circulation in the Far East region.....	175
<i>Prokopiyeva D. B., Zhuk T. A., Golovko N. I.</i> Derivation of equations for queuing systems with input stream diffusion intensity and zero drift coefficient.....	184

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Koryakina A. V., Teplitskiy V. A.</i> On the need for development of investment forecasts for fisheries growth.....	195
--	-----

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 556.53(282.247.29)

ОЦЕНКА ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С МАЛЫХ ВОДОСБОРНЫХ
БАССЕЙНОВ КАЛИНИНГРАДСКОГО/ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА
ПОСРЕДСТВОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. А. Домнин, Б. В. Чубаренко

NUTRIENT REMOVAL ASSESSMENT FROM SMALL CATCHMENT AREAS OF
THE VISTULA LAGOON USING NUMERICAL MODELING

D. A. Domnin, B. V. Chubarenko

Калининградский/Вислинский залив Балтийского моря преобразует биогенную нагрузку, поступающую с водосбора площадью 23,9 тыс. км². Проанализированы два частных водосбора: р. Приморской (120 км², небольшие поселения и сельскохозяйственные угодья) и трансграничный между Россией и Польшей р. Банувки-Мамоновки (350 км², относительно крупные населённые пункты, предприятия пищевой промышленности и сельского хозяйства).

С помощью численного моделирования произведены оценки выноса с водосбора общего азота и общего фосфора и удержания этих элементов в его пределах. В качестве исходных данных использованы морфометрические характеристики водосбора, информация о структуре землепользования и точечных источниках сброса биогенных веществ, временные ряды данных о расходе воды, температуре воздуха и атмосферных осадках. Гидрологические параметры были получены с использованием модели HYPE, учитывающей испарение в атмосферу и инфильтрацию влаги в почву. Удержание и транспортировка биогенных веществ рассчитаны с помощью модели FygisNP.

Вынос биогенных элементов с водосборов рек Банувки-Мамоновки (2008-2011 гг.) и Приморской (2010-2014 гг.) составляет 400 и 43 т общего азота и 25 и 6 т общего фосфора в год, а удержание на этих территориях оценивается в 20 и 8 % для азота и 31 и 2 % для фосфора соответственно. Определены вклады различных источников в итоговый вынос биогенных веществ. Наибольшее количество общего азота и фосфора в замыкающих створах приходит от пахотных земель (50-80 %), точечные источники составляют меньшую часть (5-30 %).

Показано, что оценка нагрузки в пропорции к площади земель различного типа является слишком неопределенной, и только путем моделирования можно учесть все аспекты взаимодействий.

математическое моделирование, водосборный бассейн, биогенная нагрузка, Калининградский залив, Вислинский залив

The Vistula Lagoon of the Baltic Sea converts the nutrient load coming from the catchment area of 23,9 thousand km². Two water catchment areas have been analyzed: the catchment of the Primorskaya River (120 km², small settlements and agricultural lands) and the cross-border catchment of the Banuvki-Mamonovka River between

Russia and Poland (350 km², relatively large populated areas, food and agriculture enterprises).

Using numerical modeling, estimates have been made of the removal from the water catchment areas of total nitrogen and total phosphorus and their retention within the catchment areas. Morphometric characteristics of the catchment area, information on the structure of land use and point sources of nutrient discharge, time series of data on water consumption, air temperature and precipitation have been used as the initial data. Hydrological parameters have been obtained using the HYPE model, taking into account evaporation and infiltration into the soil. The retention and transportation of nutrients are calculated using the FyrisNP model.

Emission of nutrients from catchments of the Banówka-Mamonovka River (2008-2011) and the Primorskya River (2010-2014) is 400 and 43 tons of total nitrogen and 25 and 6 tons of total phosphorus per year, the retention in these catchment areas are estimated as 20 and 8 % for nitrogen and 31 and 2 % for phosphorus, respectively.

Source apportionment has been made for the nutrient load discharging from both catchments to the Vistula Lagoon. The greatest amount of nutrients in final discharge is coming from the arable land (50-80 %), point sources constitute a smaller proportion (5-30 %).

It has been shown that estimations of emission based on the proportion of land use types brings too big uncertainty, and only modeling may consider all nonlinear aspects.

mathematical modeling, catchment area, nutrient load, Vistula Lagoon

ВВЕДЕНИЕ

Эвтрофикация, вызванная переизбытком биогенных элементов, является одной из ключевых проблем качества вод Балтийского моря [1]. В 2007 г. был принят План действий ХЕЛКОМ [2] по защите окружающей среды Балтийского моря, определяющий снижение биогенной нагрузки со стороны окружающих его стран. Согласно ему в Калининградской области необходимо уменьшение сбросов на 25 % по азоту и на 50 % по фосфору от существующего уровня [3]. Учитывая разрозненность малых поселений и объектов сельского хозяйства, недостаточно распределять эту квоту по уменьшению нагрузки просто пропорционально площади водосбора, а необходима оценка (аналогично [4]) конкретных условий и роли отдельных водосборов в формировании биогенного стока, поступающего в море. В качестве тестовых были выбраны водосборы малых рек Банувки-Мамоновки и Приморской, на которых имеются точки мониторинга. Эти водосборы расположены в бассейне Калининградского/Вислинского залива¹, их общая площадь составляет 3% от площади водосбора залива.

¹ Залив по-разному именуется в различных источниках. Немецкое название всего залива (838 км²) Frisches Haff, в польской литературе залив называется Wislany Zalew. В англоязычных изданиях чаще всего употребляется этноним «the Vistula Lagoon». В российских официальных изданиях северная (российская) часть залива (56.2% площади акватории) называется Калининградским заливом, южная (польская) часть – Вислинским заливом. Здесь и далее, следуя [5], используется название «Калининградский/Вислинский залив», хотя авторы ранее [6] придерживались терминологии [7] и именовали весь залив Вислинским.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Водосборный бассейн р. Банувки-Мамоновки является трансграничным (рис. 1). Река начинается в Польше под названием Банувка, впадает в Калининградский/Вислинский залив Балтийского моря на территории Калининградской области России под названием Мамоновка [7]. Площадь её водосбора составляет 350 км², из них 140 км² находятся в юго-западной части Калининградской области, а 210 км² – в северной части Варминско-Мазурского воеводства Польши [8].



Рис. 1. Расположение водосборных бассейнов рек Банувки-Мамоновки (1) и Приморской (2), их замыкающих створов (3, 4, соответственно) в пределах водосбора Калининградского/Вислинского залива (по материалам [8])

Fig. 1. Locations of catchment basins of the Banówka-Mamonovka and Primorskaya Rivers within the Vistula Lagoon catchment

Водосбор (120 км²) р. Приморской (длина без притоков 30 км) расположен на Самбийском п-ове в западной части Калининградской области. Река впадает в Приморскую бухту Калининградского/Вислинского залива [8].

Для моделирования речного стока использовался гидрологический модуль модели HYPE [9] Шведского метеорологического и гидрологического института (SMHI), а для оценки стока биогенных веществ и определения вклада различных источников – модель FyrisNP [10] Шведского университета сельскохозяйственных наук (SLU).

Модель HYPE воспроизводит временную зависимость с шагом в одни сутки расхода воды в замыкающих створах речных водосборных бассейнов с учётом испарения и инфильтрации в почву по данным о морфометрии рельефа, структуре землепользования и почв, временным рядам атмосферных осадков и температуры воздуха [9].

Модель FyrisNP по данным о поступлении валового азота и фосфора оценивает их вынос с водосборного бассейна с учётом удержания. Временной шаг

модели составляет один месяц. Удержание биогенных веществ за счёт осаждения в реках и озёрах, усвоения растениями и денитрификации рассчитывается в зависимости от температуры воды, концентрации питательных веществ, слоя стока воды, площади водных объектов [10].

Для модельных инсталляций НУРЕ использовались данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам со станции Мамоново (водосбор р. Банувки-Мамоновки) и со станции Калининград (водосбор р. Приморской) [11, 12]). Калибрация гидрологической модели НУРЕ проводилась по ежедневным данным для речного стока, а модели FyrisNP – по данным концентрации общего азота и общего фосфора в воде в ключевые гидрологические сезоны. Для р. Банувки-Мамоновки использованы данные станции Мамоново (7 км выше устья), для р. Приморской – станции Приморск (1,5 км выше устья). Период моделирования для р. Банувки-Мамоновки – 2007-2011 гг., для р. Приморской – 2010-2014 гг.

В качестве точечных источников загрязнения принимались только населённые пункты, загрязнения от предприятий-водопользователей не учитывались в силу конфиденциальности информации. Сточные воды от населённых пунктов попадают в поверхностные водные объекты слабо очищенными [13]. Для оценки нагрузки использовались данные региональной статистики о количестве населения в пределах муниципальных образований и информация [8]. Предполагалось, что нагрузка от каждого жителя составляет 5,5 г азота и 1,2 г фосфора в день, а в соответствии с оценкой [14] в конечном итоге сточные воды дают около 40 % общего азота и 50 % общего фосфора от этого количества. Было принято, что 20 % населения не подключено к канализации. Для этой группы степень удержания через инфильтрацию в почву составляла 76 % для азота и 88 % для фосфора [14].

Поскольку для периодов моделирования производительность сельскохозяйственного сектора в российских частях водосборов была низкой, большинство земель в моделях описаны как временно неиспользуемые земли («открытые»). Для польской части водосбора р. Банувки-Мамоновки структура землепользования определена по методике [15] на 2005 г. Для расчётов биогенной нагрузки, поступающей с различных типов земель, использованы данные об удельных концентрациях азота и фосфора в водах, стекающих с разных типов земель, принятые для юго-восточной Швеции [14].

МОДЕЛЬНЫЕ ИНСТАЛЛЯЦИИ

Водосбор р. Банувки-Мамоновки был разделён на десять частных водосборов – по пять в польской и российской частях (наименьшая площадь – 9, наибольшая – 78 км²), а р. Приморской – на 15 частных водосборов. Площадь наименьшего составила 1,5, а наибольшего – 19 км².

Исследование чувствительности гидрологической модели показало, что решение максимально зависит от параметров, влияющих на испарение с водосборной площади.

Для р. Банувки-Мамоновки коэффициент корреляции между измеренными и рассчитанными значениями расхода в контрольном створе для калибрационного периода (2008-2010 гг.) составил 0,93, средний измеренный расход – 4,3 м³/с, а модельный – 4,4 м³/с. (табл. 1). Для р. Приморской коэффициент корреляции равнялся 0,88 для калибрационного периода 2010-2013 гг., средний расход воды по

данным контактных измерений составил 1,3 м³/с, по данным модельного расчёта – 1,2 м³/с (табл. 2).

Модель FyrisNP имеет два эмпирических калибрационных параметра (c_0 и kvs), которые определяют, соответственно, удержание и смыв биогенных элементов в зависимости от температуры (в диапазоне 0-20°C) и расхода воды. При расчётах выноса биогенных веществ с территории исследуемых водосборов критерием верности вычислений было совпадение средних значений концентрации за моделируемый период (табл. 3, рис. 2, 3). Такой подход обусловлен тем, что измеренные данные концентрации азота и фосфора являются разовыми, а при моделировании используется осреднённый месячный шаг.

Тот факт, что не удалось получить единого набора калибровочных параметров для обоих водосборных бассейнов, означает, что, несмотря на их сходство, неопределенности, связанные с пространственными данными, осадками и данными о биогенной нагрузке в водосборе, всё-таки высоки. А значит, модели выноса биогенных веществ должны быть специально настроены для каждого водосбора.

Таблица 1. Средние, максимальные и минимальные значения расхода воды р. Банувки-Мамоновки, полученные путём измерений и моделирования для калибрационного (2008-2010 гг.) и верификационного (2011 г.) периодов

Table 1. Mean, maximum and minimum water discharge for the Banówka-Mamonovka river, obtained by measurements and simulation for calibration (2008-2010) and verification (2011) periods

Временные серии	Среднее, км ³ /год	Среднее, м ³ /с	Максимальное, м ³ /с	Минимальное, м ³ /с
Результаты калибрации модели				
Данные измерений	0,14	4,3	12,7	1,2
Результат моделирования, 2008-2010 гг.	0,14	4,4	14,0	0,8
Результаты верификации модели				
Данные измерений	0,14	4,3	6,2	2,3
Результат моделирования, 2011 г.	0,13	4,0	8,2	1,2

Таблица 2. Средние, максимальные и минимальные значения расхода воды р. Приморской, полученные путём измерений и моделирования для калибрационного (2010-2013 гг.) и верификационного (2014 г.) периодов

Table 2. Mean, maximum and minimum water discharge for the Primorskaya river, obtained by measurements and simulation for calibration (2010-2013) and verification (2014) periods

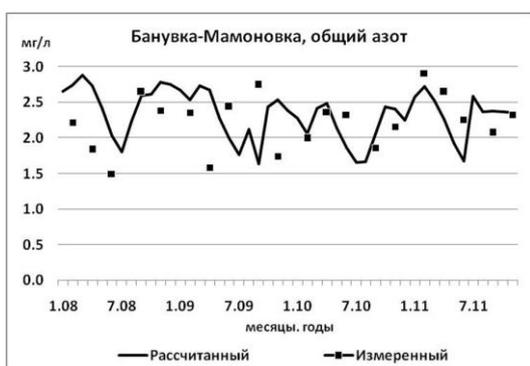
Временные серии	Среднее, км ³ /год	Среднее, м ³ /с	Максимальное, м ³ /с	Минимальное, м ³ /с
1	2	3	4	5
Результаты калибрации модели				
Данные измерений	0,04	1,3	4,1	0,1
Результат моделирования, 2010-2013 гг.	0,04	1,2	8,5	0,2

Окончание табл. 2

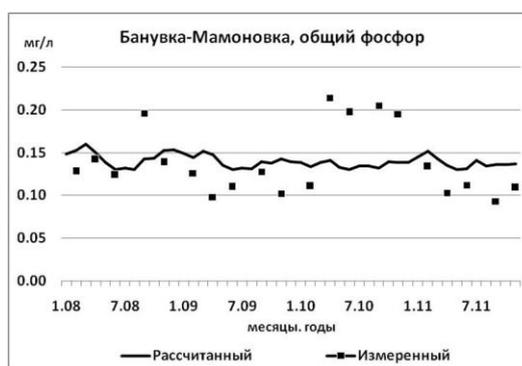
1	2	3	4	5
Результаты верификации модели				
Данные измерений	0,6	0,02	2,1	0,1
Результат моделирования, 2014 г.	0,6	0,02	4,0	0,1

Таблица 3. Средние концентрации общего азота и фосфора в воде рек Банувки-Мамоновки и Приморской, полученные путём измерений и моделирования
Table 3. Mean concentration of total nitrogen and phosphorus in the Banówka-Mamonovka and Primorskaya rivers according to measurements and simulation

Река (период моделирования)	Общий азот, мг/л		Общий фосфор, мг/л	
	Измеренный	По модели	Измеренный	По модели
Банувка-Мамоновка (2008-2011 гг.)	2,22	2,33	0,14	0,14
Приморская (2010-2014 гг.)	1,24	1,15	0,26	0,22



а)

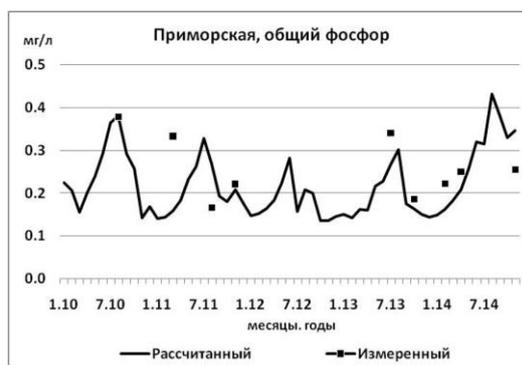


б)

Рис. 2. Вариации концентраций общего азота (а) и общего фосфора (б) в р. Банувке-Мамоновке для периода 2008-2011 гг. по данным измерений и моделирования
Fig. 2. Concentration variations of total nitrogen (a) and total phosphorus (b) in the Banówka-Mamonovka river for the period of 2008-2011 according to measurements and modeling



а)



б)

Рис. 3. Вариации концентраций общего азота (а) и общего фосфора (б) в р. Приморской для периода 2010-2014 гг. по данным измерений и моделирования
Fig. 3. Concentration variations of total nitrogen (a) and total phosphorus (b) in the Primorskaya river for the period of 2010-2014 according to measurements and modeling

ОБСУЖДЕНИЕ

Среднегодовой вынос общего азота с водосборного бассейна р. Банувки-Мамоновки в Калининградский/Вислинский залив составил 400 т/год за период 2008-2011 гг., а общего фосфора – 25 т/год. При этом удержание в водосборном бассейне общего азота – 20, а общего фосфора – 31 %. Нагрузка от пахотных земель является наиболее значительной: 82 % для общего азота и 61 % для общего фосфора (рис. 4).

В среднем со всего водосборного бассейна р. Приморской удерживается 8 % общего азота и 2 % общего фосфора. Средняя годовая нагрузка в Калининградский/Вислинский залив за период 2010-2014 гг. составляла 43 т/год общего азота и 6,2 т/год общего фосфора. Наибольший вклад вносили пахотные земли, точечные источники и фоновая нагрузка (рис. 5).

Для р. Приморской, водосбор которой полностью находится в пределах Калининградской области, наиболее значимой является нагрузка от пахотных земель – 58 % для азота и 49 % для фосфора (рис. 6). Открытые территории занимают почти 60 % её водосбора, но дают только 23 % азота и 18 % фосфора. Также меньшую долю биогенов, по сравнению с занимаемой ими площадью, привносят леса (8 % азота, 1 % фосфора) и заболоченные территории (2 % азота, 0,1 % фосфора). При этом точечные источники выступают одним из наиболее значительных биогенных загрязнителей в водосборном бассейне. Количество поступающего от них азота составляет 9 % от общего количества, а фосфора – 32 %. Тем самым проверена несостоятельность подхода, когда вклад в вынос биогенов от пространственных источников оценивается пропорционально занимаемым ими площадям.



Рис. 4. Распределение вклада различных источников в вынос с водосборного бассейна р. Банувки-Мамоновки общего азота (а) и общего фосфора (б) по результатам моделирования для периода 2008-2011 гг.

Fig. 4. Sources apportionment of nitrogen (a) and phosphorus (b) in the Banówka-Mamonovka catchment area by the modeling results for the period 2008-2011



Рис. 5. Распределение вклада различных источников в вынос с водосборного бассейна р. Приморской общего азота (а) и общего фосфора (б) по результатам моделирования для периода 2010-2014 гг.

Fig. 5. Sources apportionment of nitrogen (a) and phosphorus (b) in the Primorskaya catchment area by the modeling results for the period 2010-2014

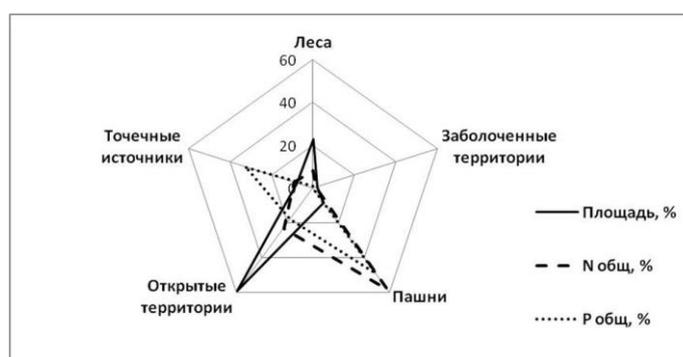


Рис. 6. Соотношение долей вклада различных источников в вынос биогенов с водосбора р. Приморской и занимаемые ими площади (в %)

Fig. 6. Fractions (in %) of nutrient sources in the nitrogen and phosphorus emission from the Primorskaya River catchment and shares of these sources in total catchment area

ВЫВОДЫ

Посредством численной модели, откалиброванной по данным концентраций биогенных веществ в реках Банувке-Мамоновке (2008-2011 гг.) и Приморской (2010-2014 гг.), определено, что вынос биогенных элементов с их водосборов составляет 400 и 43 т общего азота и 25 и 6 т общего фосфора в год, а удержание на этих территориях оценивается 20 и 8 % для азота и 31 и 2 % для фосфора соответственно.

Для уменьшения неопределенности в результатах модельных расчётов для водосбора Калининградской области частота мониторинговых данных о концентрации биогенных веществ (сегодня это один раз в сезон) должна увеличиваться в разы, чтобы воспроизвести сезонные изменения. К тому же в настоящее время государственная программа мониторинга не включает анализ общего азота и фосфора, а охватывает только их неорганические формы, в то время как биогеохимические модели полностью учитывают все формы биогенных элементов.

Полученные результаты показали, что оценка нагрузки в соответствии с учётом пропорций земель различного типа использования является слишком неопределенной. Не существует альтернативы применению численных моделей (даже самых простых), поскольку при оценке выноса биогенных веществ с водосборных территорий должны быть приняты во внимание многие процессы (в том числе и нелинейные).

БЛАГОДАРНОСТИ

Расчёты для водосбора р. Банувки-Мамоновки выполнены при поддержке проекта BaltHazAR «Создание потенциала в рамках экологического мониторинга для получения данных загрязнения из различных источников, например, для HELCOM PLCs» (2012 г.), для водосбора р. Приморской - гранта РФФИ-Бонус 14-05-91730 «Уменьшение биогенной нагрузки с сельскохозяйственных территорий в Балтийское море (Soils2Sea)» (2014-2016 гг.). Подготовка модели и сбор сопутствующих данных проводился в рамках темы № 0149-2014-0017 государственного задания АО ИО РАН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Ed. R. Feistel, G.Nausch, N. Wasmund. 2008. 704 p. ISBN: 9780471979685
2. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Krakow, 2007, 101 p.
3. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration. Copenhagen, 2013, 19 p.
4. Hessea, C. Assessment of climate change impacts on water quantity and quality of the multi-river Vistula Lagoon catchment / C. Hessea, V. Krysanova, A. Stefanova, M. Bieleckab, D. Domnin // Hydrological Sciences Journal. - 2015. - vol. 60. - Issue 5. - P. 890-911.
5. Регион Калининградского/Вислинского залива: современное состояние и сценарий развития / под ред. В. Кушевски, Г. М. Федорова, Б. В. Чубаренко, В.А. Гриценко. - Калининград: Изд-во БФУ им. И.Канта, 2014. - 216 с.
6. Домнин, Д. А. Трансграничные водосборы Юго-Восточной Балтики / Д. А. Домнин, Б. В. Чубаренко // География и природные ресурсы. - 2012. - № 3. - С. 69-76.
7. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР [Hydrometeorological conditions of the shelf zone of the seas of the USSR]. - Т. 1: Балтийское море. Вып. 3: Куршский и Вислинский заливы [The Curonian and the Vistula Lagoons] / под ред. Ф. С. Терзиева. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. - 72 с.
8. Domnin, D. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. / D. Domnin, B. Chubarenko, A. Lewandowski - Moscow: Exlibris Press, 2015. - 106 p. ISBN 978-5-9900699-4-7.
9. Donnelly, C., High-resolution, large-scale hydrological modelling tools for Europe. / C. Donnelly, J. Dahné, J. Rosberg, J. Strömqvist, W. Yang, B. Arheimer // Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010. IAHS Publ. 340, 2010.

10. Hansson, K. The FyrisNP model Version 3.1 – A tool for catchment-scale modelling of source apportioned gross and net transport of nitrogen and phosphorus in rivers / K. Hansson, M. Wallin, F. Djodjic, C. Orback. - Uppsala: Dept. of Aquatic Science and Assessment 2008. - 28 p.
11. RP5.RU: Архив погоды в Мамоново [Weather records in Mamonovo] [Электронный ресурс]. URL: <http://rp5.ru/5193/ru> (дата обращения 10.03.2017)
12. RP5.RU: Архив погоды в Калининграде [Электронный ресурс]. URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Калининграде (дата обращения 10.03.2017)
13. Великанов, Н. Л. Калининградская область: особенности использования водных ресурсов / Н. Л. Великанов, Е. Д. Проскурнин. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2003. – 128 с.
14. Swedish Environmental Protection Agency. What does domestic wastewater contain? // Swedish EPA Report. 1995. 4425.
15. Corine Land Cover technical guide – Addendum 2000 / Prepared by M. Bossard, J. Feranec, J. Otahel – Published European Environment Agency. – 2000. – 104 p.

REFERENCES

1. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. Ed. R. Feistel, G.Nausch, N. Wasmund. 2008. ISBN: 9780471979685.
2. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Krakow, 2007, 101 p.
3. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration. Copenhagen, 2013, 19 p.
4. Hesse C., Krysanova V., Stefanova A., Bieleckab M., Domnin D. Assessment of climate change impacts on water quantity and quality of the multi-river Vistula Lagoon catchment. *Hydrological Sciences Journal*. 2015, vol. 60, iss. 5, pp. 890-911.
5. Region Kaliningraskogo/Vislinskogo zaliva: sovremennoe sostoyanie i scenarii razvitiya [The Vistula Lagoon area: current state and development scenario]. Pod. red. Kushevski V., Fedorova G. M., Chubarenko B. V., Gricenko V. A. Kaaliningrad, BFU im. I. Kanta, 2014, 216 p.
6. Domnin D. A., Chubarenko B. V. Transgranichnye vodosbory Jugo-Vostochnoj Baltiki [Trans-border catchment areas of the south-eastern Baltics]. *Geografija i prirodnye resursy*, 2012, no. 3, pp. 69-76.
7. Gidrometeorologicheskie uslovia shelfovoi zony morei SSSR [Hydrometeorological conditions of the shelf zone of the seas of the USSR]. Leningrad, Hyddrometeoizddat, vol. 1, iss. 3, 1985, 72 p.
8. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow, Exlibris Press, 2015, 106 p.
9. Donnelly C., Dahné J., Rosberg J., Strömqvist J., Yang W., Arheimer B. High-resolution, large-scale hydrological modelling tools for Europe. Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010. IAHS Publ. 340, 2010.
10. Hansson K., Wallin M., Djodjic F., Orback C. The FyrisNP model Version 3.1 – A tool for catchment-scale modelling of source apportioned gross and net transport of nitrogen and phosphorus in rivers. Uppsala: Dept. of Aquatic Science and Assessment 2008, 28 p.

11. RP5. RU: Arhiv pogody v Mamonovo, available at: <http://rp5.ru/5193/ru> (Accessed 10.03.2017).
12. RP5.RU: Arhiv pogody v Kaliningrade [Weather records in Kaliningrad]. Available at: <http://rp5.ru/> (Accessed 10 March 2017).
13. Velikanov N. L., Proskurnin E. D. Kaliningradsckaja oblast': osobennosti ispol'zovaniya vodnyh resursov [The Kaliningrad region: peculiarities of using water resources]. Kaliningrad, FGUIPP «Jantarnyj skaz», 2003, 128 p.
14. Swedish Environmental Protection Agency. What does domestic wastewater contain? Swedish EPA Report. 1995. 4425.
15. Corine Land Cover technical guide – Addendum 2000. Prepared by M. Bossard, J. Feranec, J. Otahel. Published European Environment Agency. 2000, 104 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Домнин Дмитрий Александрович – Атлантическое отделение
Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН; научный сотрудник;
E-mail: dimanisha@rambler.ru

Domnin Dmitry Alexandrovich – Atlantic Branch of P. P. Shirshov's Institute
of Oceanology of RAS; scientific researcher;
E-mail: dimanisha@rambler.ru

Чубаренко Борис Валентинович – Атлантическое отделение
Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН;
кандидат физико-математических наук; зав. лабораторией;
E-mail: chuboris@mail.ru

Chubarenko Boris Valentinovich – Atlantic Branch of P. P. Shirshov's Institute
of Oceanology of RAS; PhD; head of the laboratory;
E-mail: chuboris@mail.ru

УДК 551.464 (261.24)

ЭВОЛЮЦИИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, В. А. Кречик

EVOLUTION OF HYDROCHEMICAL STRUCTURES OF THE BALTIC SEA WATERS

V. F. Dubravin, M. V. Kapustina, V. A. Krechik

Выполнена оценка климатических параметров за период 1950-2005 гг. (для месяцев и года) гидрохимических (ГХ) параметров в среднем для моря: кислорода (O_2 – мл/л), фосфора фосфатов (PO_4 – мкг-ат P/л), аммонийного и нитратного азота (NH_3 и NO_3 – мкг-ат N/л) из [1]. По предложенным авторами численным критериям рассчитаны вертикальные границы характерных слоев структур гидрохимических параметров как в среднем для моря, так и в характерных точках Южной и Центральной Балтики (для месяцев и года): верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и ядра главного слоя скачка – нижней границы деятельного слоя (ДС). Проведено сравнение положения вертикальных границ в характерных точках Южной и Центральной Балтики для термохалинных (температуры воды T_w , °С и солености, PSU) и гидрохимических параметров. Рассмотрена сезонная изменчивость параметров и характерных уровней гидрохимических структур: по данным гармонического анализа в сезонном ходе (СезХ) для O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 на поверхности и O_2 у дна, и для характерных уровней большинства параметров выявлено преобладание годовой волны, вклад которой (квота) возрастает от 0,53 для кислорода у дна и до 0,96 для фосфатов на поверхности. Наступление максимума в годовом ходе параметров и их характерных уровней в среднем для моря приходится на холодное полугодие – от ноября (аммонийный азот на поверхности моря и нижняя граница ВКС кислорода) до марта (нижняя граница ДС нитратного азота).

гидрохимические параметры (кислород, фосфор фосфатов, аммонийный и нитратный азот), структурные зоны (поверхностная, или деятельный слой, и глубинная), вертикальный градиент, верхний квазиоднородный слой, главный слой скачка, ядро главного слоя скачка, или нижняя граница деятельного слоя, сезонная изменчивость, гармонический анализ

In this paper the hydrochemical climatic parameters average (for months and years) over the period of 1951-2005 were calculated for the sea: oxygen (O_2 -ml/l), mineral phosphorus (PO_4 - μ g-at P/l), ammonium and nitrate nitrogen (NH_3 and NO_3 - μ g-at N/l). According to the numerical criteria proposed by the authors, the vertical boundaries of the hydrochemical parameters of the characteristic layers are calculated, both on average for the sea and at the specific points of the Southern and Central Baltic, for months and years: the upper quasi-homogeneous layer (UQL) and the core of the main transition layer (the lower boundary of the active layer (AL)). Position of the vertical

boundaries at the specific points of the Southern and Central Baltic for thermohaline (water temperature T_w , deg C and salinity, PSU) and hydrochemical parameters is compared. Seasonal variability of parameters and characteristic levels of hydrochemical structures is considered. According to the harmonic analysis, the seasonal course for O_2 , PO_4 , NH_3 and NO_3 in the surface layer and O_2 in the bottom layer and the characteristic levels of most parameters, the prevalence of the annual wave, whose contribution (quota) increases from 0.53 for oxygen at the bottom and up to 0.96 for phosphates on the surface. The peak in the annual course of the parameters and their characteristic levels on the average for the sea falls on the cold half of the year - from November (ammonium nitrogen on the sea surface and the lower boundary of oxygen UQL) to March (lower limit of nitrate nitrogen AL).

hydrochemical parameters (oxygen, mineral phosphorus, ammonium and nitrate nitrogen, structural zones (surface or active layer and bottom layer), vertical gradient, upper quasihomogeneous layer, main transition layer, core of the main transition layer or lower boundary of the active layer, seasonal variability, harmonic analysis

ВВЕДЕНИЕ

В Балтийском море (средиземном, внутриматериковом или внутриконтинентальном) [2, 3] под действием солеформирующих факторов (атмосферной циркуляции, речного стока и водообмена с Северным морем) [4] создается устойчивая плотностная стратификация, определяющая гидрологический и гидрохимический режимы. Однако в формировании гидрохимического режима, кроме физических процессов, приводящих к образованию главного скачка плотности (пикноклина), участвуют и биохимические: продуцирование в процессе фотосинтеза, деструкция органического вещества и биологический круговорот веществ. Таким образом, как термохалинная структура² [5], так и структуры гидрохимических параметров Балтики представлены двумя структурными зонами (СЗ): поверхностной, или деятельным слоем, и глубинной.

Из-за затрудненного водообмена между поверхностными (выше постоянного пикноклина) и глубинными слоями можно выделить три типа вертикального распределения гидрологических и гидрохимических параметров: к первому (с прямой стратификацией – падение с глубиной) следует отнести кислород; ко второму (с обратной стратификацией – рост с глубиной) – соленость, фосфор и азот и к третьему – температуру воды, которая сначала падает до ядра холодного промежуточного слоя (ХПС), а затем растет [6].

В настоящей работе рассматриваются основные особенности сезонной изменчивости структуры и характерных уровней ГХ параметров O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 для моря в целом, а также и в характерных точках Южной и Центральной Балтики. Проведенное сравнение положения нижней границы ДС в этих характерных точках для термохалинных и гидрохимических параметров выявило сходство их структур, за исключением аммонийного азота.

Авторы считают приятным долгом выразить искреннюю признательность А. В. Смирнову за выполненные расчеты рядов гидрохимических параметров и их обработку на персональном компьютере.

² Структура вод (СВ) – сочетание структурных слоев (зон) по вертикали.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В литературе нет единого мнения о критериях выделения границ между характерными слоями и СЗ в Балтике. В данной работе, как и ранее [7], в пределах ДС выделяется ВКС и нижняя часть ДС, или верхняя часть главного слоя скачка, а в глубинной СЗ – нижняя часть главного слоя скачка и придонный слой. При этом за нижнюю границу ВКС принимаем: начало оксиклина $G^{O_2} \geq 0,1$ мл O_2 /л·м; начало фосфатоксиклина $G^{PO_4} \geq 0,01$ мкг-ат Р/л·м; начало главного слоя скачка аммония $G^{NH_3} \geq 0,01$ мкг-ат N/л·м; начало главного нитратоклина $G^{NO_3} \geq 0,01$ мкг-ат N/л·м; а за границу между СЗ: для O_2 и NO_3 – глубину максимального вертикального градиента $G^{O_2}_{max}$ и $G^{NO_3}_{max}$; для PO_4 – глубину залегания изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л.

Таким образом, цель данного исследования – получить количественные оценки сезонной изменчивости структуры и характерных уровней ГХ параметров O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 с помощью гармонического анализа [8] на базе массива данных наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими параметрами в одноградусных трапециях из атласа [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средние за год характерные уровни гидрохимических структур. На рисунке и в табл. 1 приводятся среднемесячные кривые вертикального распределения в слое 0-150 м и СезХ нижних границ ВКС и ДС (O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 , средних для моря в целом, за 1950-2005 гг. (рассчитано по [1]).

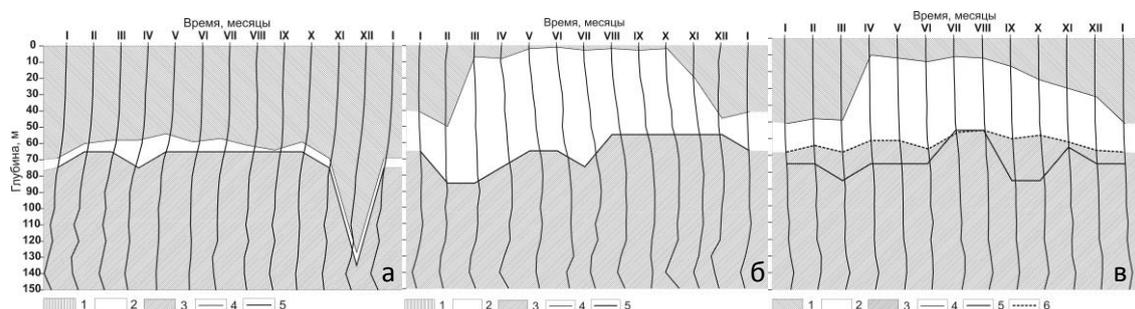


Рис. Внутригодовая изменчивость кислородной (а), нитратной (б) и фосфатной (в) структур верхнего 150-метрового слоя, среднего для всего Балтийского моря за 1950-2005 гг. (рассчитано по [1]): 1 – верхний квазиоднородный слой; 2 – нижняя часть деятельного слоя; 3 – глубинная структурная зона; 4 – верхняя граница главного слоя скачка; 5 – ядро главного слоя скачка; 6 – изофосфата 1,00 мкг-ат Р/л

Fig. Intra-annual variability of the oxygen (a), nitrate (b) and phosphate (v) structures of the upper 150-m layer, average for the entire Baltic Sea in 1950-2005 (calculated according to the data [1]): 1 – upper quasihomogeneous layer; 2 – the lower part of the active layer; 3 – deep structural zone; 4 – upper boundary of the main transition layer; 5 – core of the main transition layer; 6 – isophosphate 1,00 μ g-at P/l

Этим рисунком подтверждаются два типа стратификации – прямая (для кислорода) (рис. а) и обратная (для биогенов) (рис. б, в) – и правомерность (корректность) использования средних для Балтики гидрохимических полей в слое до 90-100 м, поскольку ниже имеет место череда наведенных экстремумов.

Таблица 1. Средний для Балтийского моря сезонный ход нижних границ ВКС и ДС (м) кислорода (O_2), фосфатов (PO_4), аммония (NH_3) и нитратов (NO_3) за 1950-2005 гг. (рассчитано по [1])

Table 1. Average seasonal course of the lower boundaries of the UQL and AL (m) of oxygen (O_2), phosphates (PO_4), ammonium (NH_3) and nitrates (NO_3) for the Baltic Sea for 1950-2005 (calculated according to the data [1])

Пара-метр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
	Нижняя граница ВКС												
O_2	69	60	58	58	54	59	57	61	64	59	69	<u>127</u>	60
PO_4	<u>51</u>	48	49	10	12	14	11	12	17	25	30	35	30
NH_3	69	66	67	<u>70</u>	3	5	5	3	6	32	63	67	35
NO_3	41	<u>50</u>	7	8	2	1	3	2	3	2	20	45	9
Нижняя граница ДС (G_{max})													
O_2	75	65	65	75	65	65	65	65	65	65	75	<u>135</u>	65
PO_4	75	75	<u>85</u>	75	75	75	55	55	<u>85</u>	<u>85</u>	65	75	75
$PO_4^{1)}$	<u>68</u>	64	<u>68</u>	61	61	66	56	55	60	58	62	67	61
NH_3	<u>135</u>	125	<u>135</u>	<u>135</u>	<u>135</u>	105	125	<u>135</u>	125	<u>135</u>	<u>135</u>	<u>135</u>	135
NO_3	65	<u>85</u>	<u>85</u>	75	65	65	75	55	55	55	55	55	55

Примечание. ¹⁾Сезонный ход изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л.

Максимальные величины даны курсивом и подчеркнуты снизу, минимальные – курсивом

В среднем для Балтики нижняя годовая граница ВКС увеличивается от 9 м для нитратов до 30-35 – для фосфатов и аммония и до 60 – для кислорода. Нижняя граница ДС (если за нее принимать максимум вертикального градиента гидрохимического параметра – G_{max}) возрастает от 55-65 м для NO_3 и O_2 до 75 – для PO_4 и до 135 – для NH_3 (табл. 1).

Дальнейший анализ показал, что использование в качестве критерия нижней границы поверхностной СЗ глубины залегания максимума вертикального градиента справедливо только для O_2 и NO_3 . Этот вывод основывается на том, что плотностная стратификация Балтийского моря в первую очередь определяется вертикальным распределением солености (обратная стратификация), а рост температуры ниже ядра ХПС приводит лишь к ослаблению главного пикноклина, значит, логично в качестве «эталоны» нижней границы ДС принять глубину максимального вертикального градиента солености – G_{max}^S (PSU/м). В табл. 2 представлены глубины залегания (м) максимумов вертикального градиента гидрологических (T_w и S) и гидрохимических (O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3) параметров, средние за 1950-2005 гг., в характерных точках: Арконской (кв. -3), Борнхольмской (кв. 11), Гданьской (кв. 36), Готландской (кв. 47) впадинах, Финском заливе (кв. 68) и Балтике в целом. Как видим, в Южной и Центральной Балтике глубина G_{max} в среднем за год для S , T_w , O_2 и NO_3 сначала возрастает от 15 м в Арконском бассейне до 55-75 – в Борнхольмской и Гданьской котловинах, а затем несколько уменьшается (до 65 м) в Готландской. На входе в Финский залив, где уже заметно влияние речных вод, глубина G_{max} для этих параметров располагается между 45 и 75 м. Что касается PO_4 и NH_3 , то глубина залегания их G_{max} резко отличается от G_{max} для S , T_w , O_2 и NO_3 , поэтому в качестве нижней границы ДС использовать $G_{max}^{PO_4}$

или $G_{\max}^{\text{NH}_3}$ нельзя. Ранее нами в [9] за границу ДС PO_4 принималась глубина залегания изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л. Из табл. 2 видно, что её глубина в характерных точках моря мало отличается от G_{\max} для S, T_w , O_2 и NO_3 (различия не превышают ± 5 м).

Таблица 2. Глубина залегания (м) максимумов вертикального градиента температуры (T_w), солености (S), кислорода (O_2), фосфатов (PO_4), аммония (NH_3) и нитратов (NO_3), средняя за 1950-2005 гг., в Арконской (кв. -3), Борнхольмской (кв. 11), Гданьской (кв. 36), Готландской (кв. 47) впадинах, Финском заливе (кв. 68) и Балтике в целом (рассчитано по данным [1])

Table 2. Depth (m) of the maximum vertical gradient of temperature (T_w), salinity (S), oxygen (O_2), phosphates (PO_4), ammonium (NH_3) and nitrates (NO_3), averaged for 1950-2005 in Arkona (sq. -3), Bornholm (sq. 11), Gdansk (sq. 36), Gotland basins (sq. 47), the Gulf of Finland (sq. 68) and Entire Baltic (calculated according to the data [1])

Регион (кв.)	$G_{\max}^{T_w}$ (°C/м)	G_{\max}^S (PSU/м)	$G_{\max}^{\text{O}_2}$ (мл/л·м)	$G_{\max}^{\text{PO}_4}$ (мкг- ат/л·м)	P = 1,0· мкг- ат/л	$G_{\max}^{\text{NH}_3}$ (мкг- ат/л·м)	$G_{\max}^{\text{NO}_3}$ (мкг- ат/л·м)
Кв. (-3)	15	15	15	15	20	15	15
Кв. (11)	55	55	55	65	54	75	55
Кв. (36)	75	75	75	95	70	85	75
Кв. (47)	65	65	65	215	63	135	65
Кв. (68)	75	55	65	65	50	75	45
Вся Балтика	105	75	65	75	61	135	55

Сезонная изменчивость гидрохимических параметров и характерных уровней их структур. Известно [2], что во всей Балтике СезХ кислорода в поверхностном слое имеет максимум весной и минимум летом. Годовой максимум связан с весенней вспышкой фитопланктона и фитобентоса (на мелководье). Летний минимум обусловлен как снижением фотосинтетической деятельности фитопланктона, связанным с истощением запасов биогенных элементов, так и уменьшением растворимости O_2 в воде из-за прогрева поверхностного слоя и увеличения интенсивности окислительных процессов при повышении температуры. С началом холодного сезона содержание O_2 начинает увеличиваться на поверхности за счет абсорбции из атмосферы, а по мере усиления конвекции – и на нижележащих горизонтах. Что касается СезХ биогенов (PO_4 и N), то во всей Балтике в поверхностном слое он имеет однотипный характер с максимумом зимой и минимумом летом. Годовой максимум связан с максимумом конвективного перемешивания, вызывающим поступление биогенов из нижележащих слоев, и минимумом фотосинтеза из-за минимума солнечной радиации. Летний минимум обусловлен истощением запасов биогенных элементов в результате весенне-летней фотосинтетической деятельности фитопланктона. С началом осеннего охлаждения начинается рост биогенов в поверхностном слое из-за поступления из нижележащих слоев в результате осенне-зимней конвекции [2].

Из рисунка и табл. 1 следует, что в среднем для моря в верхнем слое содержание всех ГХ параметров медленно убывает с глубиной так, что нижняя граница ВКС в холодный сезон простирается до 50 м в январе-феврале (PO_4 и NO_3),

до 69-70 м в январе и апреле (NH_3) и до 127 м в декабре (O_2). В теплый сезон граница ВКС поднимается до 54 м в мае (O_2), до 10-14 м в апреле-августе (PO_4), до 3-6 м в мае-сентябре (NH_3) и 1-3 м в мае-октябре (NO_3). Ниже начинается главный слой скачка. Его ядро в годовом ходе в некоторой степени повторяет изменение нижней границы ВКС, что особенно четко проявляется для структуры O_2 – ядро оксиклина в годовом ходе повторяет изменение нижней границы ВКС, располагаясь на 5-10 м глубже (рис. а). Ядро нитратоклина в течение года находится между 85 м в феврале-марте и 55 м от августа до декабря (рис. б), а ядро фосфатоклина (изофосфата 1,0 мкг-ат Р/л) – между 67-68 м в декабре, январе, марте и 55-56 м в июле-августе (рис. в). Ниже ядра главного слоя скачка начинается глубинная СЗ. Таким образом, ГХ структуры Балтийского моря определяются следующими характерными уровнями (слоями): поверхностным максимумом для O_2 (минимумом для PO_4 и NO_3), ядром главного слоя скачка и придонным минимумом для O_2 (максимумом для PO_4 и NO_3).

В табл. 3 приводятся гармонические постоянные внутригодового хода ГХ параметров на поверхности и их характерных уровней в среднем для Балтийского моря за 1950-2005 гг. Ее анализ показал, что в среднем для моря СезХ:

- кислорода на поверхности характеризуется правильным годовым ходом (вклад первой гармоники $q_I = 0,95$, $A_I = 1,4$ мл O_2 /л и дата наступления максимума $T_{\max I} = 23.02$). Для ВКС и ДС выявлено слабое преобладание годовой волны $q_I = 0,33$ и $q_I = 0,26$ (квоты II, III и IV гармоник от 0,1 до 0,2), $A_I = 15,3$ м и $A_I = 13,8$ м, $T_{\max I} = 25.11$ и $T_{\max I} = 07.12$;

- фосфатов на поверхности характеризуется правильным годовым ходом (вклад первой гармоники $q_I = 0,96$, $A_I = 0,22$ мкг-ат Р/л и дата максимума $T_{\max I} = 11.01$). Для ВКС и ДС выявлено преобладание годовой волны $q_I = 0,77$ и $q_I = 0,60$ ($q_{II} = 0,10$ и $q_{II} = 0,07$), $A_I = 19,1$ м и $A_I = 4,7$ м, $T_{\max I} = 03.01$ и $T_{\max I} = 29.01$;

- аммония на поверхности характеризуется преобладанием годовой волны ($q_I = 0,64$, $A_I = 0,15$ мкг-ат N/л и дата максимума $T_{\max I} = 19.11$). Для ВКС вклад годовой волны возрос до $q_I = 0,86$, $A_I = 39,3$ м, $T_{\max I} = 10.01$. Оценки СезХ нижней границы ДС аммония не рассматриваем как не соответствующие действительности, поскольку средняя для моря в целом глубина ДС – 130 м;

- нитратов на поверхности характеризуется правильным годовым ходом ($q_I = 0,93$, $A_I = 3,28$ мкг-ат N/л и дата максимума $T_{\max I} = 20.01$). Для ВКС и ДС выявлено преобладание годовой волны: $q_I = 0,70$ и $q_I = 0,66$ ($q_{II} = 0,19$ и $q_{II} = 0,15$), $A_I = 21,5$ м и $A_I = 12,8$ м, $T_{\max I} = 30.12$ и $T_{\max I} = 18.03$.

Рассмотрим результаты гармонического анализа СезХ O_2 на поверхности и у дна в каждой одноградусной трапеции (табл. 4). Табл. 4 подтверждает корректность годового хода O_2 на поверхности, полученную по данным табл. 3, – на большей части моря вклад годовой гармоники $q_I \geq 0,88$ при максимуме $q_{\max I} = 0,98$ в Арконском море и минимуме $q_{\min I} = 0,57$ в Готландской котловине; ее амплитуда, в основном превышающая $A_I \geq 1,4$ мл O_2 /л, наблюдается вдоль южного и восточного побережий моря при максимуме $A_{\max I} = 2,2$ мл O_2 /л (Финский залив) и минимуме $A_{\min I} = 1,0$ мл O_2 /л (Ботнический залив); дата наступления максимума для большей части моря отмечается после $T_{\max I} = 28.02$, позднее всего максимум наступает в Готландской котловине ($T_{\max I} = 26.03$), а раньше всего ($T_{\max I} = 08.02$) – на западе моря в Кильской бухте. Что касается среднегодового поверхностного

содержания кислорода, то для большей части акватории $A_0 \geq 8,0$ мл O_2 /л, максимальное значение $A_{\max 0} = 8,7$ мл O_2 /л отмечено южнее Слупского желоба у побережья Польши, а минимальное – $A_{\min 0} = 7,2$ мл O_2 /л на западе моря в Кильской бухте и Финском заливе.

Таблица 3. Гармонические постоянные среднего для моря СезХ кислорода (мл O_2 /л), фосфатов (мкг-ат Р/л), аммония (мкг-ат N/л) и нитратов (мкг-ат N/л) на поверхности и характерных уровней их структур в Балтийском море за 1950-2005 гг. (рассчитано по [1])

Table 3. Harmonic constants of the average for the sea seasonal course of oxygen (ml O_2 /l), phosphates ($\mu\text{g-at P/l}$), ammonium ($\mu\text{g-at N/l}$) and nitrates ($\mu\text{g-at N/l}$) on the surface and structures characteristic levels in the Baltic Sea for 1950-2005 (calculated according to the data [1])

Параметр	Гармоники						A_I/A_{II}	A_0
	I (годовая волна)			II (полугодовая волна)				
	Амплитуда I	Дата I	Квота I	Амплитуда II	Дата II	Квота II		
O_2 (мл/л) 0 м	1,39	23.02	0,95	0,29	23.04(23.10)	0,04	4,77	7,87
ВКС (м)	15,3	25.11	0,33	11,6	03.06(03.12)	0,19	1,32	66
ДС (м)	13,8	07.12	0,26	12,6	28.05(28.11)	0,22	1,10	73
PO_4 (мкг-ат Р/л) 0 м	0,22	11.01	0,96	0,04	03.02(03.08)	0,03	0,27	5,58
ВКС (м)	19,1	03.01	0,77	6,8	25.01(25.07)	0,10	2,80	26
ДС (м)	4,7	29.01	0,60	1,6	03.06(03.12)	0,07	2,97	62
NH_3 (мкг-ат N/л) 0 м	0,15	19.11	0,64	0,07	29.04(29.10)	0,12	2,32	0,40
ВКС (м)	39,3	10.01	0,86	4,5	28.03(28.09)	0,01	8,67	38
ДС (м)	5,7	12.12	0,22	4,4	22.03(22.09)	0,13	1,29	130
NO_3 (мкг-ат N/л) 0 м	3,28	20.01	0,93	0,78	20.01(20.07)	0,05	4,22	4,22
ВКС (м)	21,5	30.12	0,70	11,2	28.06(28.12)	0,19	1,92	15
ДС (м)	12,8	18.03	0,66	6,0	07.02(07.08)	0,15	2,13	66

Сезонная изменчивость O_2 в придонном слое иная, она связана с местными условиями (близостью к Датским проливам, рельефом дна и плотностной стратификацией). Так, средний вклад годовой гармонике уменьшился до $q_1 \geq 0,53$ при максимуме $q_{\max I} = 0,99$ в Арконском море и минимуме $q_{\min I} = 0,01$ в Ландсорской котловине; ее средняя амплитуда несколько уменьшилась ($A_I \geq 1,2$ мл O_2 /л) при максимуме $A_{\max I} = 3,0$ мл O_2 /л (Арконское море и Рижский залив) и минимуме $A_{\min I} = 0,02$ мл O_2 /л (Ландсорская котловина); дата наступления максимума в среднем для моря сдвинулась на $T_{\max I} = 09.04$, позднее всего он наступает на восточном склоне Готландской котловины ($T_{\max I} = 27.07$), а раньше всего ($T_{\max I} = 02.01$ и $T_{\max I} = 24.01$) – в Финском заливе и Ландсорской котловине. При этом среднегодовое содержания кислорода у дна по сравнению с поверхностным сократилось более чем в двое – до $A_0 = 3,8$ мл O_2 /л, хотя максимальное значение понизилось всего на 0,4 мл O_2 /л – до $A_{\max 0} = 8,3$ мл O_2 /л (вершина Ботнического залива), однако минимальное уменьшилось до острого дефицита

$O_2 - A_{\min 0} \leq 0,3$ мл O_2 /л (запад Северо-Балтийской котловины). Отметим, что содержание O_2 вблизи дна выше среднего придонного значения отмечается в нескольких регионах в силу различных причин. Так, в Арконском море $A_0 = 4,3 \div 5,8$ мл O_2 /л, несмотря на глубины менее 30-40 м, но сильную плотностную стратификацию, из-за близости к Датским проливам, аэрация придонного слоя осуществляется затоками североморских вод даже малой интенсивности. Вдоль побережья Латвии и в Рижском заливе $A_0 = 4,0 \div 7,3$ мл O_2 /л, в вершине Финского залива $A_0 = 3,8 \div 4,7$ мл O_2 /л, при глубинах менее 50 м и невысокой стратификации аэрация придонного слоя идет с поверхности в период осенне-зимней конвекции, такой же механизм действует и в Ботническом заливе ($A_0 = 7,4 \div 8,3$ мл O_2 /л), где, несмотря на глубины более 50-150 м, но слабую плотностную стратификацию, аэрация придонного слоя за счет конвективного перемешивания приводит к тому, что даже в летние месяцы содержание $O_2 \geq 6,1$ мл/л.

Таблица 4. Гармонические постоянные СезХ (средние и предельные значения) кислорода (мл O_2 /л) на поверхности и у дна в Балтийском море за 1950-2005 гг. (рассчитано по [1])

Table 4. Harmonic constants of the seasonal course (average and limiting values) of oxygen (ml O_2 /l) at the surface and at the bottom in the Baltic Sea for 1950-2005 (calculated according to [1])

Параметр	Гармоники						A_I/A_{II}	A_0
	I (годовая волна)			II (полугодовая волна)				
	Амплитуда I	Дата I	Квота I	Амплитуда II	Дата II	Квота II		
O_2 (мл/л) 0 м	1,45	28.02	0,877	0,41	18.04(18.10)	0,075	4,19	8,00
O_2 (мл/л) 0 м максимум	2,18	26.03	0,984	0,82	03.06(03.12)	0,186	12,29	8,72
O_2 (мл/л) 0 м минимум	1,05	08.02	0,574	0,10	16.03(16.09)	0,007	1,88	7,23
O_2 (мл/л) дно	1,16	09.04	0,530	0,37	14.04.(14.10)	0,103	4,29	3,76
O_2 (мл/л) дно максимум	3,00	27.07	0,988	0,88	25.06(25.12)	0,506	27,55	8,30
O_2 (мл/л) дно минимум	0,02	02.01	0,008	0,02	04.01(04.07)	0,001	0,37	0,26

ВЫВОДЫ

1. Среднеклиматические значения за 1950-2005 гг. для Балтийского моря на поверхности составляют: $O_2 = 7,87$ мл/л; $PO_4 = 5,58$ мкг-ат P/л; $NH_3 = 0,40$ мкг-ат N/л и $NO_3 = 4,22$ мкг-ат N/л.

2. Выявлена двуслойность ГХ структуры для исследуемых параметров: поверхностная, или ДС (ВКС и верхняя часть главного слоя скачка), и глубинная (нижняя часть главного слоя скачка и придонный слой).

3. В Южной и Центральной Балтике глубина G_{\max} в среднем за год для S , T_w , O_2 и NO_3 возрастает от 15 м в Арконском море до 55-75 – в Борнхольмской и Гданьской котловинах, а затем несколько уменьшается – до 65 м в Готландской. На входе в Финский залив, где уже заметно влияние речных вод, глубина G_{\max} для этих параметров располагается между 45 и 75 м. Для PO_4 и NH_3 их G_{\max} в качестве нижней границы использовать нельзя. Была подтверждена правомерность

применения в качестве границы ДС фосфатов глубины залегания изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л, предложенной в [9].

4. Выявлено преобладание годовой волны в СезХ для O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 на поверхности и O_2 у дна и для характерных уровней большинства параметров, вклад которой (квота) возрастает от 0,53 для кислорода у дна и до 0,96 для фосфатов на поверхности. Наступление максимума содержания параметров и их характерных уровней в годовом ходе в среднем для моря приходится на холодное полугодие – от ноября (NO_3 на поверхности моря и ВКС O_2) до марта (ДС NO_3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Feistel, R. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. – 2008. 712 p.

2. Берникова, Т. А. Гидрология и промысловая океанология: учебник / Т. А. Берникова. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.

3. Балтийское море. Энциклопедия / И. С. Зонн [и др]. – Москва: Международные отношения, 2015. – 576 с.

4. Антонов, А. Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел: моногр. / А. Е. Антонов. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.

5. Добровольский, А. Д. Об определении водных масс / А. Д. Добровольский // Океанология. – 1961. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 12-24.

6. Дубравин, В. Ф. Мониторинг деятельного слоя в пределах российского сектора Юго-Восточной Балтики / В. Ф. Дубравин, Ж. И. Стонт, О. А. Гуцин // Сборник материалов X Международного экологического форума «День Балтийского моря» – Санкт-Петербург: ООО «Макси-Принт», 2009. – С. 205-206.

7. Дубравин, В. Ф. Долгопериодная изменчивость термохалинной структуры вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин, Г. Е. Маслянкин, Е. В. Дорохова // Инновации в науке и образовании-2010: VIII Международная научная конференция (19-21 окт.): к 80-летию образования университета: в 2 ч. / ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2010. – Ч. 1. – С. 135-138.

8. Брукс, К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузерс. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1963. – 416 с.

9. Гидрохимические показатели и взвешенное вещество / В. Ф. Дубравин [и др.] // Нефть и окружающая среда Калининградской области: в 2 т. – Т. II. Море / под ред. В. В. Сивкова (отв. ред.), Ю. С. Каджояна, О. Е. Пичужкиной, В. Н. Фельдмана. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – С. 276-291.

REFERENCES

1. Feistel R., Nausch G., Wasmund N. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. 2008, 712 p.

2. Bernikova T. A. *Gidrologija i promyslovaja okeanologija: uchebnik* [Hydrology and commercial oceanology: student's book]. Moscow, Pishhevaja promyshlennost', 1980, 240 p.

3. Zonn I. S. [i dr.]. *Baltijskoe more. Jenciklopedija* [The Baltic sea. Encyclopedia]. Moscow, Mezhdunarodnye otnoshenija, 2015, 576 p.

4. Antonov A. E. *Krupnomasshtabnaja izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltijskogo morja i ee vlijanii na promysel* [Large-scale changeability of the hydrometeorological conditions at the Baltic sea and its influence on the economy]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 248 p.

5. Dobrovolskij A. D. *Ob opredelenii vodnyh mass* [On definition of water bodies]. *Okeanologija*, 1961, vol. 1, iss. 1, pp. 12-24.

6. Dubravin V. F., Stont Zh. I., Gushhin O. A. *Monitoring dejatel'nogo sloja v predelah rossijskogo sektora Jugo-Vostochnoj Baltiki* [Monitoring of the active layer within the Russian sector of the south-eastern Baltic]. *Sbornik materialov X Mezhdunarodnogo jekologicheskogo foruma «Den' Baltijskogo morja»* [Proceedings of the X International ecological forum "The Baltic sea day"]. Saint-Petersburg, OOO «Maksi-Print», 2009, pp. 205-206.

7. Dubravin V. F., Masljankin G. E., Dorohova E. V. *Dolgoperiodnaja izmenchivost' termohalinnoj struktury vod Baltijskogo morja* [Long-period variability of the thermohaline structure of the Baltic sea waters]. *Innovacii v nauke i obrazovanii-2010: VIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya (19-21 okt.): k 80-letiju obrazovanija universiteta* [Innovations in science and education-2010: VIII International scientific conference (19-21 Oct.): dedicated to the 80th anniversary of the university foundation]. Federalnoye Agentstvo po rybolovstvu; FGBOU VPO «KGTU». Kaliningrad, 2010, vol. 1, pp. 135-138.

8. Bruks K., Karuzers N. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistical methods in meteorology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 416 p.

9. Dubravin V. F., Dorohova E. V., Sivkov V. V. *Smyslov Gidrohimicheskie pokazateli i vzveshennoe veshhestvo* [Hydrochemical indicators and suspended material]. *Neft' i okruzhajushhaja sreda Kaliningradskoj oblasti. Vol. II. More*. Kaliningrad, Terra Baltika, 2012, pp. 276-291.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дубравин Владимир Филиппович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; доктор географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник; E-mail: v_dubravin@mail.ru

Dubravin Vladimir Filippovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Grand PhD in Geographic sciences, Associate Professor, leading researcher; E-mail: v_dubravin@mail.ru

Капустина Мария Владимировна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; младший научный сотрудник; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Kapustina Mariia Vladimirovna – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Research Assistant; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Кречик Виктор Антонович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН;
инженер-исследователь; E-mail: myemail.gav@gmail.com
Krechik Viktor Antonovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of
Sciences; Research Engineer; E-mail: myemail.gav@gmail.com

УДК 532:639.2

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ РАСПОРНОЙ СИЛЫ РАЗНОГЛУБИННЫХ ТРАЛОВЫХ РАСПОРНЫХ ДОСОК ОТ ТОЛЩИНЫ ПРОФИЛЯ

В. А. Пелешенко, М. М. Розенштейн

DEPENDENCE OF THE METRIC PUSH-IN FORCE OF THE MIDWATER TRAWL BOARDS ON THE PROFILE THICKNESS

V. A. Peleshenko, M. M. Rozenshtein

В статье изучено влияние относительной толщины профиля траловых распорных досок на их гидродинамические характеристики. По результатам исследований были разработаны модели траловых распорных досок различных конструкций. При помощи методов вычислительной гидродинамики проведено 25 200 экспериментальных циклов. Вычислены и проанализированы показатели поверхностных давлений, линии тока жидкости, коэффициенты распорной силы и гидродинамического качества при обтекании траловых досок с различными показателями относительной толщины профиля. На основании полученных данных разработана формула, позволяющая вычислить значения максимальных показателей гидродинамических коэффициентов распорной силы при заданных значениях относительной толщины профиля. Получены эмпирические зависимости гидродинамического качества от толщины профиля и коэффициента распорной силы от показателей гидродинамического качества. Разработаны практические рекомендации по величине относительной толщины профиля траловых распорных досок. Выявлен интервал рациональных значений толщины профиля от 0,09 до 0,25. Было доказано, что относительная толщина профиля 0,09 характеризуется наилучшими показателями гидродинамического качества, а относительная толщина профиля 0,25 обладает наилучшими показателями распорной силы. Баланс соотношения коэффициента гидродинамической распорной силы и гидродинамического качества достигается при толщине профиля, равной 0,14. Результаты проведённого исследования позволяют на ранних этапах проектирования вычислять гидродинамические характеристики без проведения трудоёмких и длительных модельных экспериментов. Это даёт проектировщику возможность осуществить выбор геометрических параметров профиля траловых распорных досок, обеспечивающий заданные гидродинамические показатели, необходимые для успешного функционирования системы тралового комплекса.

траловая доска, толщина профиля, гидродинамическое качество, распорная сила

The article considers the influence of the relative profile thickness of the trawl boards on their hydrodynamic characteristics. During the experiments, models have been developed of the trawl boards in various designs. Using the methods of computational fluid dynamics, 25200 experimental cycles have been held. Calculated and analyzed are the indicators of surface pressure, flow line of fluid, coefficients of otter force and hydrodynamic quality in the flow of trawl boards with different relative thickness of the profile. On the basis of the data obtained, formulas have been developed that make it possible to calculate the maximum values of the hydrodynamic coefficients of the otter force of the trawl boards at given indexes of the relative thickness of the profile, as well as the hydrodynamic quality of the trawl boards for given values of the relative thickness of the profile, and the maximum coefficients of the hydrodynamic otter force for given hydrodynamic quality of the trawl boards. We have developed practical recommendations on the value of the relative thickness of the profile of the trawl boards. The interval of rational values of the profile thickness from 0,09 to 0,25 is discovered. It has been found that the relative profile thickness of 0.09 is characterized by the best hydrodynamic performance, and the relative profile thickness of 0.25 has the best exponential strength. The balance of the relationship between the hydrodynamic otter force coefficient and hydrodynamic quality is achieved with a profile thickness equal to 0.14. The results of the research allow us at the early stages of design to calculate hydrodynamic characteristics of trawl boards without the need for laborious and lengthy model experiments. This gives the designer an opportunity to choose geometric parameters of the trawl boards profile, which provides the required hydrodynamic parameters necessary for successful operation of the trawl complex system.

trawl boards, profile thickness, hydrodynamic quality, push-in force

ВВЕДЕНИЕ

Первые траловые доски появились в конце XIX в. и представляли собой плоские деревянные щиты, коэффициент гидродинамического качества которых не превышал 1,1, а коэффициент распорной силы – 1,2. Постепенно, на основе многолетнего опыта эксплуатации конструкция траловых досок претерпела улучшения. Так, в 50-х гг. Э. М. Ракуновым [1] было замечено, что применение сегментальных профилей существенно повышает гидродинамические показатели траловых досок. Разработанная им одноимённая модель траловой доски обладала гидродинамическим коэффициентом распорной силы 1,73 и гидродинамическим качеством 1,5, намного превысив соответствующие характеристики траловых досок с плоским профилем. В настоящее время конструкция всех производимых траловых распорных досок основана на применении сегментальных профилей. Однако, несмотря на труды российских и зарубежных учёных [2-5], до сих пор отсутствует методика, позволяющая определить гидродинамические коэффициенты траловых досок в зависимости от их геометрических характеристик.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одной из важнейших геометрических характеристик траловых досок с сегментальным профилем является толщина профиля, представленная на рис. 1, и обозначенная B_p , отражающая максимальное значение ординаты внешней кромки профиля.

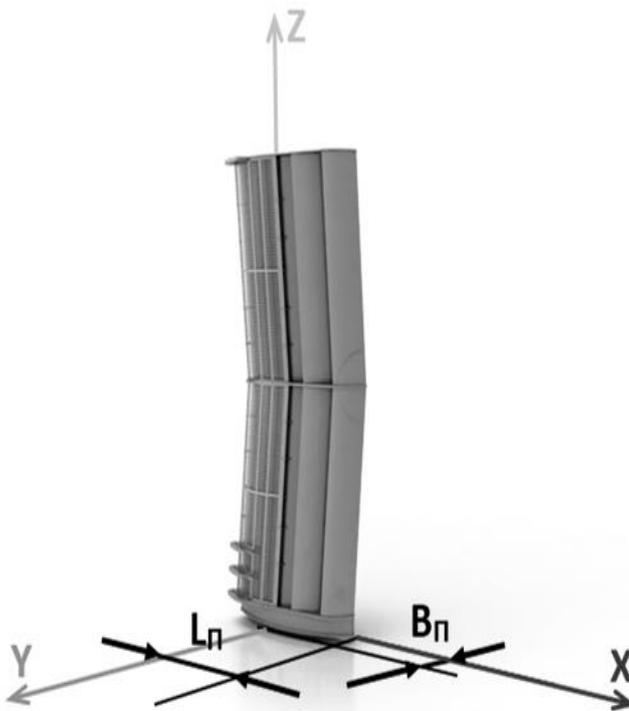


Рис. 1. Траловая доска с сегментальным профилем
Fig. 1. Trawl board with segmental profile

Определение рациональных значений толщины профиля траловых распорных досок является необходимым условием для повышения их итоговых гидродинамических показателей. Величина толщины профиля влияет на такие важнейшие характеристики, как: коэффициент распорной силы; гидродинамическое качество; диапазон рабочих углов атаки; показатели жёсткости профиля и др.

В данной работе рассматривается влияние толщины профиля траловых досок на гидродинамический коэффициент распорной силы, который является целевым показателем работы траловых досок и отражает способность траловых досок формировать распорную силу и обеспечивать тем самым раскрытие устья трала. Также в работе исследована зависимость гидродинамического качества траловых досок от толщины профиля, которая показывает эффективность использования досок в системе тралового комплекса и характеризует соотношение их полезного результата – усилия по обеспечению раскрытия трала – к величине затраченных судном ресурсов на преодоление их сопротивления. При проектировании траловых досок конструкторы, как правило, стараются найти баланс между данными показателями в соответствии с конкретным техническим заданием, обусловленным характеристиками траловой системы.

Для унификации последующих расчётов введём параметр B , который является относительной толщиной профиля траловой доски и выражается отношением толщины профиля B_p траловой доски к длине хорды профиля траловой доски L_p (см. рис.1). В ходе научного исследования было подготовлено шесть моделей траловых досок с относительной толщиной профиля 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. Каждая модель прошла 14 серий испытаний в диапазоне углов атаки от 0 до 50° с общим шагом 5° и шагом 1° на максимальных значениях распорной силы с целью определения экстремумов. Моделирование проводилось методом вычислительной гидродинамики CFD с использованием аппаратно-программных комплексов с параллельным вычислением на основе решения уравнений Эйлера и Навье-Стокса [6-8]. Для минимизации погрешности моделирование проводилось с трёхсоткратным повторением в среде безграничной жидкости, с учётом сжимаемости жидкости, изменений давлений и вязкости в толще жидкости, турбулентных течений, включая рассеивания турбулентной энергии в жидкости и изменения характеристики жидкости в условиях турбулентности, моделирования плёночных обтеканий вблизи стенок с расчётом напряжений сдвига поверхности, а также с учётом кавитации и сопутствующих изменений течения жидкости. Суммарное количество экспериментальных циклов составляет 25 200.

На основе экспериментальных данных была составлена диаграмма, изображенная на рис. 2, на которой представлена зависимость гидродинамических коэффициентов распорной силы траловых распорных досок с различной относительной величиной толщины профиля на различных углах атаки. Как видно из диаграммы, при относительной толщине профиля траловых досок 0; 0,1; 0,2 наблюдается рост показателей распорной силы с её экстремумом в диапазоне показателей относительной толщины профиля между значениями 0,2; 0,3 с последующим ухудшением гидродинамических характеристик на интервале значений при относительной толщине 0,4; 0,5.

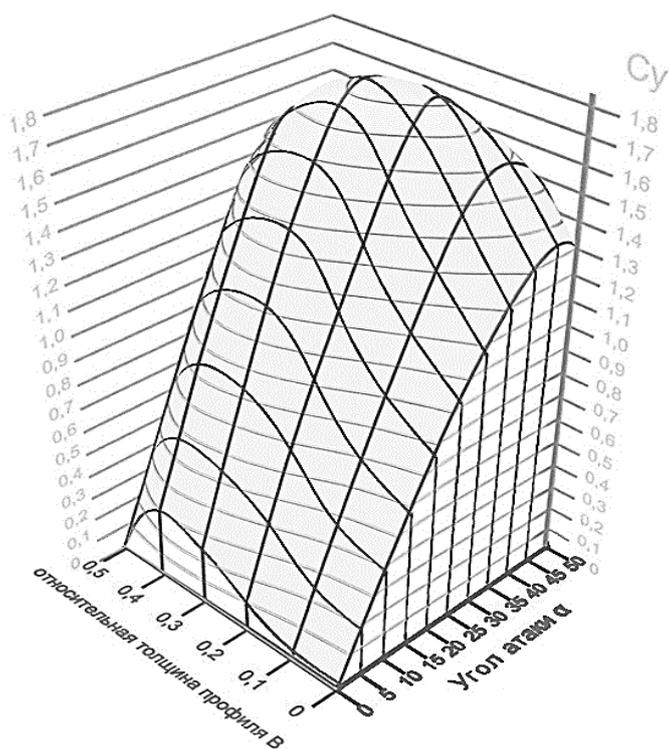


Рис. 2. Диаграмма гидродинамических коэффициентов распорной силы траловых досок разноглубинного трала от углов атаки и относительной толщины профиля
Fig. 2. Diagram of hydrodynamic coefficients of the otter force of midwater trawl boards from the angles of attack and relative thickness of the profile

На рис. 3 приведён график зависимости максимальных показателей гидродинамических коэффициентов распорной силы траловых распорных досок от величины относительной толщины профиля.

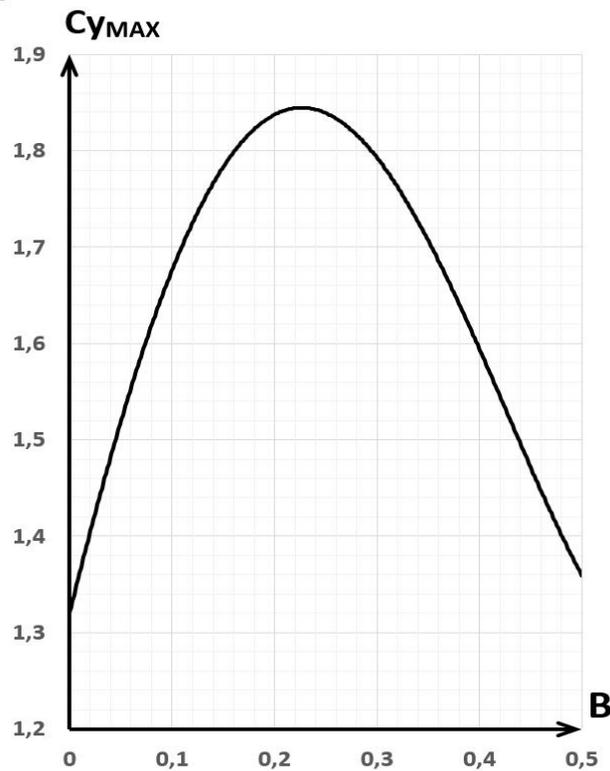


Рис. 3. График зависимости максимальных показателей гидродинамических коэффициентов распорной силы траловых распорных досок
 Fig. 3. Graph of the maximum values of hydrodynamic force coefficients of the trawl boards

При аппроксимации получена формула:

$$C_u = 27,083 \cdot B^4 - 18,287 \cdot B^3 - 6,1181 \cdot B^2 + 4,3224 \cdot B + 1,3208, \quad (1)$$

которая позволяет с коэффициентом достоверности 0,99 определить максимальные показатели гидродинамических коэффициентов распорной силы траловых распорных досок при заданных значениях относительной толщины профиля.

На рис. 4 показан график зависимости гидродинамического качества распорной силы от величины относительной толщины профиля.

При аппроксимации экспериментальных значений гидродинамического качества траловых распорных досок при различных величинах относительного удлинения получим:

$$K = -170,21 \cdot B^4 + 212,53 \cdot B^3 - 89,249 \cdot B^2 + 11,152 \cdot B + 1,6727. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет с коэффициентом достоверности 0,99 определить показатели гидродинамического качества траловых распорных досок при заданных значениях относительной толщины профиля.

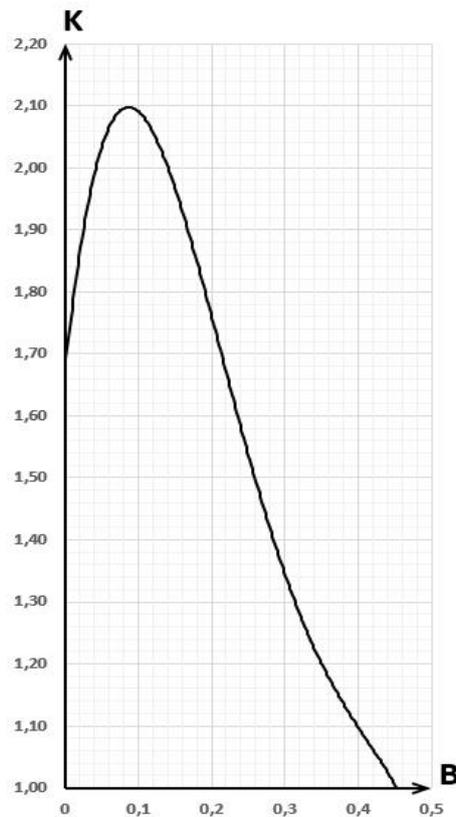


Рис. 4. График зависимости гидродинамического качества траловых распорных досок от величины относительной толщины профиля

Fig. 4. Graph of the hydrodynamic quality of the trawl boards from the relative thickness of the profile

Согласно графику зависимости коэффициента гидродинамической распорной силы от относительной толщины профиля и графику зависимости гидродинамического качества от относительной толщины профиля, максимальный показатель распорной силы достигается при значении относительной толщины профиля 0,25, а максимальный показатель гидродинамического качества – при 0,09. Высокие показатели коэффициента распорной силы при относительной толщине профиля 0,2 обусловлены величиной и характером распределения давления с внутренней и внешней стороны профиля траловой доски.

На рис. 5 – эпюра давлений при различной величине относительной толщины профиля, на которой видно, что при плоском профиле зона повышенного давления с внутренней стороны профиля очень мала и постепенно возрастает с увеличением относительной толщины профиля. Однако вместе с ростом зоны повышенного давления при относительной толщине профиля свыше 0,2 начинается смещение центра давлений к оконечности профиля, что приводит к падению распорной силы и росту лобового сопротивления.

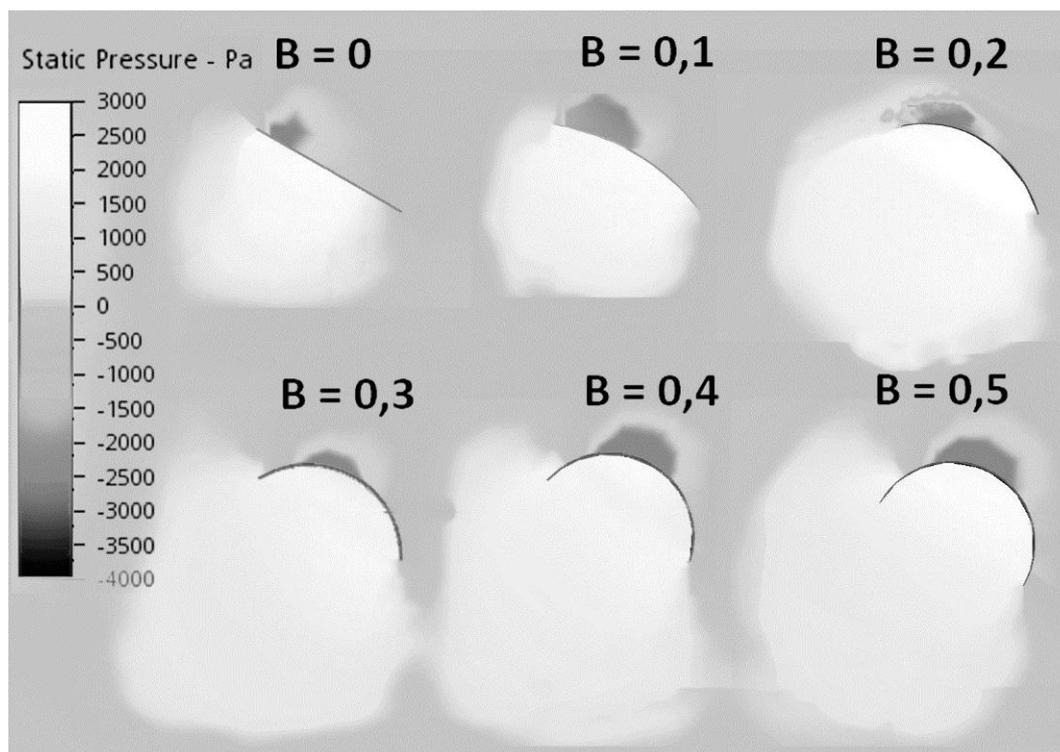


Рис. 5. Эпюры давлений при различной величине относительной толщины профиля

Fig. 5. Pressure diagram at different relative thickness of the profile

На рис. 6 представлено обтекание траловых распорных досок с различной величиной относительной толщины. В интервале относительной толщины профиля от 0 до 0,1 происходит падение величины турбулентных течений, образуемых за профилем траловой доски. При увеличении значений относительной толщины профиля с 0,1 до 0,5 наблюдается увеличение турбулентного шлейфа. Исходя из представленных линий тока видно, что наиболее удобообтекаемым является профиль с величиной относительной толщины 0,1, который обладает самым коротким турбулентным шлейфом и объёмом сопутствующих присоединённых масс жидкости, что объясняет максимальные показатели гидродинамического качества траловых досок при соответствующем значении относительной толщины.

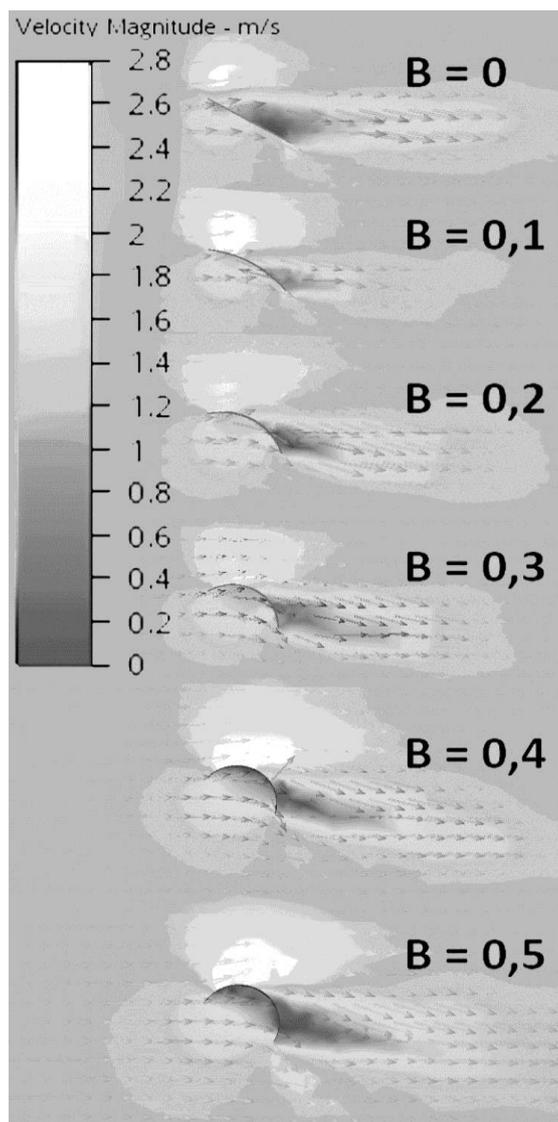


Рис. 6. Обтекание траловых распорных досок с различной величиной относительной толщины профиля

Fig. 6. Flow-around of trawl doors with different relative thickness of the profile

На рис. 7 показан график зависимости максимальных коэффициентов гидродинамической распорной силы от гидродинамического качества траловых распорных досок.

При аппроксимации экспериментальных данных получена формула:

$$C_{y_{\max}} = 0,0502 \cdot K^3 - 1,0394 \cdot K^2 + 2,994 \cdot K - 0,4, \quad (3)$$

которая с коэффициентом достоверности 0,99 позволяет определить максимальные коэффициенты гидродинамической распорной силы при заданных значениях гидродинамического качества траловых распорных досок.

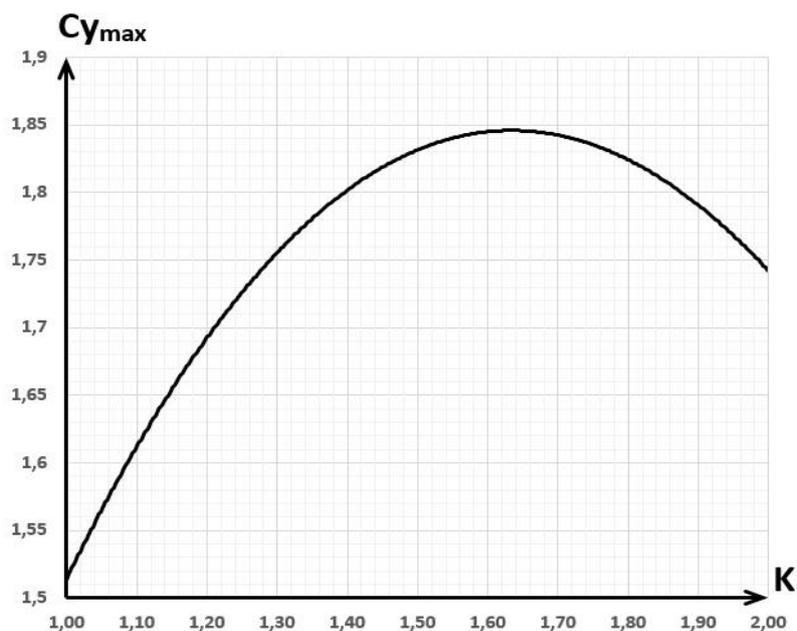


Рис. 7. График зависимости максимальных коэффициентов гидродинамической распорной силы от гидродинамического качества траловых распорных досок
 Fig. 7. Dependence diagram of the maximum coefficients of the hydrodynamic otter force on the hydrodynamic qualities of the trawl boards

На рис. 8. показан графический способ определения толщины профиля траловой доски. Он предполагает выбор такого значения толщины профиля, при котором коэффициенты распорной силы и гидродинамического качества численно равны.

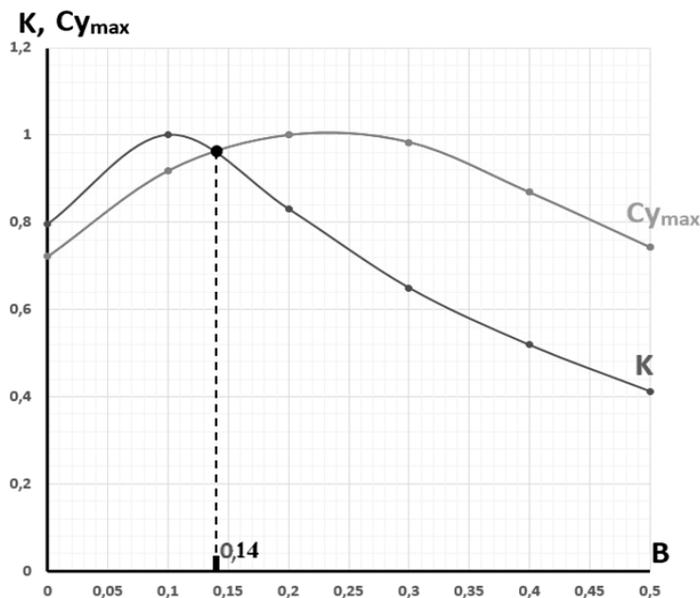


Рис. 8. Графоаналитический способ определения толщины профиля
 Fig. 8. Graphic-analytical method for determination of profile thickness

Следует отметить, что при проектировании траловых досок конструктору придётся искать компромиссное решение при выборе относительной толщины профиля траловой доски в интервале между максимальным показателем гидродинамического качества при значении относительной толщины профиля 0,09 и максимальным коэффициентом распорной силы при значении относительной толщины профиля 0,25, опираясь на формулы 1-3 и данные технического задания. Если рассматривать толщину профиля траловой доски как баланс между гидродинамическим качеством и коэффициентом распорной силы, то в общем виде решением является пересечение графиков зависимости относительных значений показателей гидродинамического качества и коэффициентов распорной силы от относительной толщины профиля, изображенных на рис. 8. Пересечение вышеизложенных функций соответствует величине относительной толщины профиля, равного 0,14.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследования были разработаны формулы, позволяющие вычислить максимальные значения показателей гидродинамических коэффициентов распорной силы при заданных показателях относительной толщины профиля, а также гидродинамические качества траловых распорных досок при заданных показателях относительной толщины профиля. Выявлен интервал рациональных значений толщины профиля от 0,09 до 0,25 и показатель толщины профиля, равный 0,14, являющийся балансом соотношения коэффициента гидродинамической распорной силы и гидродинамического качества. Результаты проведенного исследования позволяют на ранних этапах проектирования вычислять гидродинамические характеристики траловых распорных досок без проведения трудоёмких и длительных модельных экспериментов. Они также дают проектировщику возможность осуществить выбор геометрических параметров профиля, обеспечивающий заданные гидродинамические показатели, необходимые для успешного функционирования системы тралового комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыкунов, Э. М. Сравнительная характеристика сферических досок и техника работы с ними на траулерах средней мощности / Э. М. Рыкунов. – Владивосток: ЦБТИ «Дальрыба», 1970. – 28 с.
2. Пелешенко, В. А. Метод автоматизированного расчёта балансировочного угла атаки распорных досок разноглубинного трала / В. А. Пелешенко // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 5. – С. 90-92.
3. Карпенко, В. П. Исследование гидродинамических характеристик распорных траловых устройств / В. П. Карпенко // Труды ЦНИИТЭИРХ. Промышленное рыболовство. – Москва, 1973. – Т. 2. – 102 с.
4. Stengel H, Fridman A. L. Fischfang-Gerate.Theorie und Entwerfen von Fanggeraten der Hochseefischerei. Berlin: VEB Verlage Technik. 332 s.

5. Stengel H. Theorie und Entwerfen von Fischfanggeräten: Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium No 4 // Rostock, 1983. – 64 s.

6. Владимирова, Н. А. Применение уравнений Эйлера для моделирования вихревых течений / Н. А. Владимирова, В. С. Сакович // Ученые записки ЦАГИ. – 1999. – № 1-2. – С. 18-39.

7. Деги, Д. В. Численное решение уравнений Навье-Стокса на компьютерах с параллельной архитектурой / Д. В. Деги, А. В. Старченко // Вестник Томского гос. университета. Математика и механика. – 2012. – № 2 (18). – С. 88-98.

8. Платонов, Д. В. Сравнительный анализ CFD-пакетов SigmaFlow и ANSYS Fluent на примере решения ламинарных тестовых задач / Д. В. Платонов, А. В. Минаков, А. А. Дектерев, Е. Б. Харламов // Вестник Томского ГУ. Математика и механика. – 2013. – № 1 (21). – С. 84-94.

REFERENCES

1. Rykunov E. M. *Sravnitel'naya kharakteristika sfericheskikh dosok i tekhnika raboty s nimi na traulerakh sredney moshchnosti* [Comparative characteristics of spherical boards and their operating techniques on trawlers of average power]. Vladivostok, TsBTI «Dal'ryba», 1970, 28 p.

2. Peleshenko V. A. *Metod avtomatizirovannogo rascheta balansirovochnogo ugla ataki raspornykh dosok raznoglubinnogo trala* [Method of automated calculation of the balancing angle of attack of midwater trawl boards]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2015, no. 5, pp. 90-92.

3. Karpenko V. P. *Issledovanie gidrodinamicheskikh kharakteristik raspornykh tralovykh ustroystv* [Study of hydrodynamic characteristics of trawl devices]. Tr. TsNIITEIRKh. Promyshlennoe rybolovstvo, Moscow, 1973, vol. 2, 102 p.

4. Stengel H., Fridman A. L. *Fischfang-Geräte. Theorie und Entwerfen von Fanggeräten der Hochseefischerei* Berlin: VEB Verlage Technik. 332 p.

5. Stengel H. *Theorie und Entwerfen von Fischfanggeräten: Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium*, no 4. Rostock, 1983, 64 p.

6. Vladimirova N. A., Sakovich V. S. *Primenenie uravneniy Eylera dlya modelirovaniya vikhrevykh techeniy* [Application of the Euler equations for simulation of vortex flows]. *Uchenye zapiski TsAGI*, 1999, no. 1-2, pp. 18-39.

7. Degi D. V., Starchenko A. V. *Chislennoe reshenie uravneniy Nav'e Stoksa na komp'yuterakh s parallel'noy arkhitekturoy* [Numerical solution of the Navier Stokes equations on computers with parallel architecture]. *Vestnik Tomskogo gos. universiteta*, Matematika i mekhanika, 2012, no. 2 (18), pp. 88-98.

8. Platonov D. V., Minakov A. V., Dekterev A. A., Kharlamov E. B. *Sravnitel'nyy analiz CFD-paketov SigmaFlow i ANSYS Fluent na primere resheniya laminarnykh testovykh zadach* [Comparative analysis of CFD SigmaFlow packages and ANSYS Fluent on the example of solving laminar test problems]. *Vestnik Tomskogo gos. universiteta*, Matematika i mekhanika, 2013, no. 1 (21), pp. 84-94.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пелешенко Виталий Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; соискатель; E-mail: vitaliy.peleshenko@yandex.ru

Peleshenko Vitaliy Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; applicant; E-mail: vitaliy.peleshenko@yandex.ru

Розенштейн Михаил Михайлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры промышленного рыболовства; E-mail: rozenshtein@klgtu.ru

Rozenshtein Mikhail Mikhailovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Professor at the Department of industrial fisheries; E-mail: rozenshtein@klgtu.ru

УДК 597.587.9-113.4

МАКСИМАЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ПОЛЯРНОЙ КАМБАЛЫ *LIOPSETTA GLACIALIS*, РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ *PLATICHTHYS FLESUS* И ЕРШОВАТКИ *LIMANDA LIMANDA* В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНОГО РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

Г. В. Фукс, А. В. Семушин

MAXIMUM AGE OF THE ARCTIC FLOUNDER *LIOPSETTA GLACIALIS*, EUROPEAN FLOUNDER *PLATICHTHYS FLESUS* AND COMMON DAB *LIMANDA LIMANDA* IN THE COASTAL WATERS OF THE NORTHERN FISHERY BASIN

G. V. Fuks, A. V. Semushin

Определен максимальный возраст у полярной камбалы *Liopsetta glacialis* за период 1981-2016 гг., речной камбалы *Platichthys flesus* и ершоватки *Limanda limanda* за период 2002-2016 гг. в Белом море, а также в юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей. Работ, посвященных изучению возраста камбаловых арктических морей, немного. В ряде публикаций отмечены лишь упоминания об их максимальном возрасте. Его определяли методом слома и обжига «broken and burned». В работе дано описание составляющих частей слома, дополнительных колец на отолите. Приведен максимальный возраст трех видов камбал с разбивкой по каждому из районов трех морей северного рыбохозяйственного бассейна: Белое море - шесть районов, юго-восточная часть Баренцева - четыре и юго-западная часть Карского - три. Проведен сравнительный анализ полученных данных с данными из литературных источников. Так как исследуемые виды камбал имеют широкое распространение, задействованы литературные источники по Дальнему Востоку, некоторым северным морям Европы, Черному и Азовскому. Обнаружено, что в наших исследованиях были выявлены наиболее старшевозрастные особи трех исследуемых видов камбал. Полученные результаты значительно превышают данные литературных источников. Определен максимальный возраст камбал в трех морях. В Белом море: полярной – 22, речной – 18, ершоватки – 24 года; в юго-восточной части Баренцева моря: полярной – 28, речной – 23, ершоватки – 27 лет; в юго-западной части Карского моря: полярной – 23 года. Особи этих видов, имеющие предельный возраст, были обнаружены в Чешской губе и прибрежных участках Печорской губы юго-восточной части Баренцева моря.

полярная камбала, речная камбала, ершоватка, максимальный возраст, отолиты, Белое море, юго-восточная часть Баренцева моря, Карское море

The maximum age was determined for the Arctic flounder of *Liopsetta glacialis* for the period 1981-2016, the European flounder *Platichthys flesus* and common dab *Limanda limanda* for the period 2002-2016 in the White Sea, as well as in the southeastern part of the Barents and the southwestern part of the Kara Sea. There are few

studies of the age of the Arctic flounder. A number of publications only mention their maximum age. The age of the fish was determined using "broken and burned" method. The paper describes constituent parts of the scrap, additional rings on the otolith. The maximum age of three species of flounder is disaggregated for each of the regions of the three seas of the northern fisheries basin: the White Sea - 6 regions, the southeastern part of the Barents Sea - 4 and the southwestern part of the Kara Sea - 3. The obtained data was compared with the data from literature sources. Since the investigated species of flounder are widely distributed, literary sources are involved in the Far East, some northern seas of Europe, the Black and Azov Seas. In our study, the oldest individuals of the three investigated flounder species were identified. The obtained results significantly exceed the data of the literature sources. The maximum age of flounder is determined in three seas: in the White Sea: Arctic - 22, European - 18, dab - 24 years; In the southeastern part of the Barents Sea: Arctic - 28, European - 23, dab - 27 years; In the southwestern part of the Kara Sea: Arctic - 23 years. These species, having a limiting age, were found in the Cheshskaya Bay and coastal areas of the Pechora Bay of the southeastern part of the Barents Sea.

arctic flounder, European flounder, common dab, maximum age, otoliths, the White Sea, the south-eastern part of the Barents Sea, the Kara Sea

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлены результаты определения максимального возраста полярной камбалы *Liopsetta glacialis*, речной камбалы *Platichthys flesus* и ершоватки *Limanda limanda* в Белом, Баренцевом (юго-восточная часть) и Карском морях. Предельный возраст рыб является важным показателем, используемым для изучения динамики численности промысловых видов. Работ, посвященных изучению возраста камбаловых арктических морей, немного. В значительном ряде публикаций отмечены лишь упоминания об их максимальном возрасте [1–11]. Хотя вопросы, связанные с возрастной структурой камбаловых, освещены в целом ряде работ по некоторым северным морям Европы [12–20], Дальнего Востока [21–23], Черному [24, 25] и Азовскому [26] морям.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собирали в рейсах и экспедициях Северного филиала ФГБНУ «ПИНРО» в Белом, Баренцевом (юго-восточная часть) и Карском морях в 1981–2016 гг. По полярной камбале изучены материалы с 1981 по 2016 г., по речной камбале и ершоватке – с 2002 по 2016 г. Объем работ представлен в табл. 1.

Таблица 1. Количество определенных возрастных проб, экз.

Table 1. Number of certain age samples, specimen

Вид рыбы	Белое море	Юго-восточная часть Баренцева моря	Карское море	Всего
Полярная камбала	9045	4995	1363	15403
Речная камбала	10928	1845	-	12773
Ершоватка	3561	756	2	4319

Возраст рыб определяли методом слома и обжига «broken and burned» [27], который считается наиболее точным, в том числе и для камбаловых рыб [28], и не требующим материально-технического обеспечения и времени. Исследования проводили на бинокулярном микроскопе МБС-10 в отраженном свете. Отолит разламывали так, чтобы линия разлома проходила через его ядро, затем прокаливали в пламени горелки докрасна для четкого проявления гиалиновых зон. При определении возраста с использованием микроскопа на отолит помещали каплю воды для более четкого проявления годовых колец, что важно при наличии дополнительных колец, трещин или при работе со старшевозрастными группами рыб – более 10 лет. На фотографиях сломов отолитов каждый прожитый год (годовое кольцо в гиалиновой зоне) отмечали точкой (за исключением последнего года прироста).

Возраст подсчитывали по приоритетным осям, проходящим в вентральной и дорсальной частях от центра к внутренней стороне отолита [17]. Фотографии отолитов производили с использованием цифрового фотоаппарата (рис. 1).



Рис. 1. Детали различных областей отолита полярной камбалы и приоритетные оси для определения возраста [29]

Fig. 1. Details of the different areas of the Arctic flounder otolith and the priority axis to determine the age (Fuks, 2015)

В середине отолита имеется ядро (рис. 1). При обжиге оно становится темной зоной в центре слома, но эта зона проявляется не всегда. Иногда вокруг нее видно кольцо, которое, согласно Н.И. Чугуновой [30], не считали за кольцо первого года жизни.

На отолитах между годовыми кольцами иногда имелись дополнительные (рис. 2). Как правило, они не проходили по всей окружности слома, были менее четко выражены, узкие, прерывистые (рис. 2г). Оператор при определении возраста такие кольца не считал как годовые в соответствии с подходом З.А. Чешевой [31], так как основным признаком годового кольца является его замкнутость по периметру. Упоминания о дополнительных кольцах на регистрирующих структурах, в частности у камбаловых [32], ранее были отмечены в нескольких работах [31–34]. При наличии дополнительных колец, для достоверности результата, обожженный отолит раскалывали вдоль от дорсального к вентральному краю таким образом, чтобы были видны все кольца.

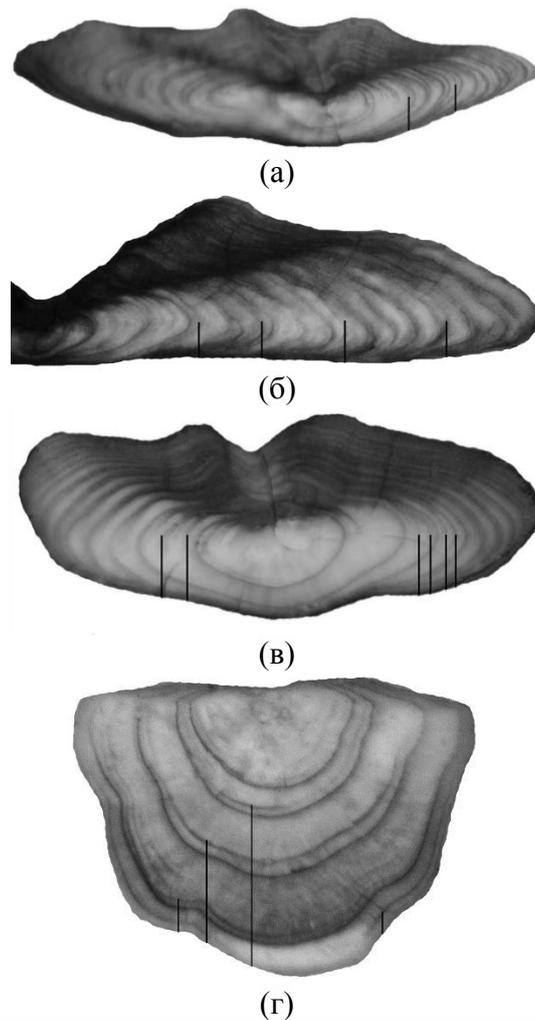


Рис. 2. Дополнительные кольца на отолитах, отмечены черными линиями:
(а) – полярная камбала, (б) – речная камбала, (в) – ершоватка,
(г) – дополнительные кольца в плоскости слома отолиита, продольный разлом
Fig. 2. Additional rings on otoliths marked with black lines
(a) Arctic flounder, (b) European flounder (c) – common dab, (d) – extra wide rings in
the plane of the scrapping of otolith longitudinal fissure

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полярная камбала. В Белом море количество особей старше 10 лет составило 3,2 %, юго-восточной части Баренцева моря – 14,7, Карском море – 17,3 %. Рыба старше 20 лет встречалась крайне редко: за период исследований поймано 4 экз. Максимальный возраст, определенный нами, составил 28 лет (рис. 3). У данной особи полярной камбалы, начиная с возраста 10 лет, скорость роста снизилась, поэтому годовые кольца были расположены близко друг к другу. Выявлено, что все они замкнуты и четко разделены по всей окружности слома. Дополнительные кольца не учитывались. Такие же операции проводились со старшевозрастными особями других видов камбал.



Рис. 3. Полярная камбала. Возраст 28 лет. Побережье Печорской губы.

Юго-восточная часть Баренцева моря. Самка, длина рыбы 27,4 см

Fig. 3. Arctic flounder. The age of 28. The coast of the Pechora Bay. The South-Eastern part of the Barents Sea. Female fish length 27.4 cm

Речная камбала. В Белом море количество особей старше 10 лет составило 2.8 %, юго-восточной части Баренцева моря – 17.6 %. Рыба старше 20 лет также встречалась крайне редко: за период исследований поймано 5 экз. Максимальный возраст, определенный нами, составил 23 года (рис. 4).

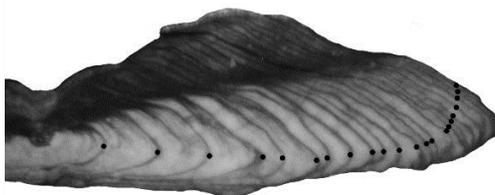


Рис. 4. Речная камбала. Возраст 23 года. Чешская губа, р. Пеша. Юго-восточная часть Баренцева моря. Самка, длина рыбы 36,7 см

Fig. 4. European flounder. The age of 23. Cheshskaya bay, Pesha river. The South-Eastern part of the Barents Sea. Female fish length 36,7 cm

Ершоватка. В Белом море количество особей старше 10 лет составило 3,2 %, юго-восточной части Баренцева моря – 18,3. В Карском море в 2015 г. впервые за время исследований СевПИНРО были пойманы 2 экз. в возрасте пяти лет. В общей выборке рыба старше 20 лет встречалась крайне редко: за период исследований поймано 5 экз. Максимальный возраст составил 27 лет (рис. 5).

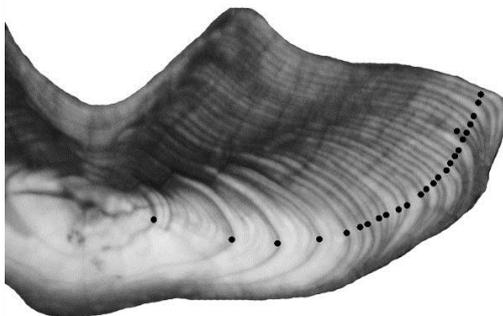


Рис. 5. Ершоватка. Возраст 27 лет. Чешская губа, р. Пеша. Юго-восточная часть Баренцева моря. Самка, длина рыбы 23,5 см

Fig. 5. Common dab. The age of 27. Cheshskaya bay, Pesha river. The South-Eastern part of the Barents Sea. Female fish length 23,5 cm

Максимальный возраст трех изученных видов камбал, отмеченный нами при определении возраста в разных районах исследований, показан в табл. 2. Возраст менее 10 лет в некоторых районах объясняется небольшой выборкой исследованного материала.

Таблица 2. Максимальный возраст камбал, отмеченный при определении возраста в разных районах исследований, лет

Table 2. Maximum age of flounder, noted in determining the age in different areas of research, age

Район моря	Полярная камбала	Речная камбала	Ершоватка
	Белое море		
Двинский залив	17	14	24
Онежский залив	15	13	18
Кандалакшский залив	7	8	10
Бассейн	10	8	17
Мезенский залив	20	18	10
Воронка	22	5	17
Юго-восточная часть Баренцева моря			
Вайгачский район	16	10	-
Печорская губа	28	22	6
Поморский пролив	20	18	19
Чешская губа	26	23	27
Юго-западная часть Карского моря			
Карская губа	23	-	-
Байдарацкая губа	14	-	5
Западное побережье п-ова Ямал	21	-	-
Обская губа	11	-	-

Сравнительный анализ полученных данных с данными литературных источников указывает на то, что в наших исследованиях были обнаружены наиболее старшевозрастные особи трех исследуемых видов камбал (табл. 3). В большинстве работ при определении возраста применялся аналогичный метод слома и обжига. Выявлен максимальный возраст полярной камбалы – 28 лет, речной камбалы – 23 года, ершоватки – 27 лет, все особи пойманы в Чешской губе юго-восточной части Баренцева моря.

Таблица 3. Значения максимального возраста ершоватки, полярной и речной камбал по литературным данным

Table 3. The maximum age of common dab, Arctic and European flounder according to the literature

Море	Полярная камбала	Речная камбала	Ершоватка
1	2	3	4
Охотское	13 ^[21]	-	-

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Берингово	6 ^[23]	-	-
Белое	20 ^[4]	14 ^[35]	20 ^[8]
Баренцево	22 ^[5]	14 ^[11]	17 ^[10]
Карское	9 ^[36]	-	-
Балтийское	-	19 ^[17]	6 ^[37]
Северное	-	5 ^[13]	14 ^[20]
Черное	-	7 ^[25]	-
Азовское	-	9 ^[26]	-

Различия в данных из литературных источников и наших (по аналогичным районам), иногда значительные, можно объяснить в первую очередь недостатком материала у большинства исследователей.

ВЫВОДЫ

Определен максимальный возраст камбал в трех морях:

- в Белом море: полярной – 22, речной – 18, ершоватки – 24 года;
- в юго-восточной части Баренцева моря: полярной – 28, речной – 23, ершоватки – 27 лет;
- в юго-западной части Карского моря: полярной – 23 года.

Обнаруженный нами максимальный возраст камбал превышает указанный в литературе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суворов, Е. К. К ихтиофауне Чешской губы / Е. К. Суворов // Труды института по изучению севера. – Москва. – 1929. – № 43. – С. 101-132.
2. Андрияшев, А. П. Рыбы северных морей СССР / А. П. Андрияшев. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1954. – 566 с.
3. Николаев, А. П. Полярная камбала Онежского залива Белого моря / А. П. Николаев // Вопросы ихтиологии. – 1955. – № 5. – С. 86-94.
4. Кобелев, Е. А. Биология и промысел полярной камбалы Мезенского залива и Воронки Белого моря / Е. А. Кобелев // Проблемы изучения, рац. использ. и охраны природн. ресурсов Белого моря: тез. докл. регион. конф. – Архангельск, 1985. – С. 233-234.
5. Кобелев, Е. А. Некоторые биологические особенности полярной камбалы *Liopsetta glacialis* юго-восточной части Баренцева моря / Е. А. Кобелев // Вопросы ихтиологии. – 1989. – Т. 29. – № 4. – С. 550-554.
6. Карамушко, О. В. Речная камбала прибрежных вод Мурмана / О. В. Карамушко, О. Ю. Юначева // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 6. – С. 57-59.
7. Dietrich R. Populationsökologie der Plattfische (Fam. Pleuronectidae) im Küsten- und Ästuarbereich des Weißen Meeres: Dissertation an der Math.-Nat. Fakultät der Univ. Rostock, 2009. 154 p.

8. Фукс, Г. В. Биологическая характеристика камбаловых Белого моря по данным 2012 г. / Г. В. Фукс // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: XXIX Междунар. конф.: тез. докл. (Мурманск, 27-29 марта 2013 г.), ПИНРО. – Мурманск [Электронный ресурс] 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – 2013. [2 с.]
9. Фукс, Г. В. Биология камбаловых акватории пос. Шойна Воронки Белого моря / Г. В. Фукс // Конкурентный потенциал северных и арктических регионов: сб. науч. тр. – Архангельск. – 2014. – С. 122-125.
10. Стесько, А. В. Результаты исследований линейного роста лиманды (*Limanda limanda* L., 1758) Баренцева моря / А. В. Стесько // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С.171-179.
11. Семушин, А. В. Камбаловые Белого моря: современные данные о биологии полярной камбалы *Liopsetta glacialis*, речной камбалы *Platichthys flesus* и ершоватки *Limanda limanda* / А. В. Семушин, Г. В. Фукс, Н. А. Шилова // Вопросы ихтиологии. – 2015. – Т. 55. – № 4. – С. 413-425.
12. Бетешева, Е. И. Биология и промысел речной камбалы средней части Балтийского моря / Е. И. Бетешева, М. В. Желтенкова, Е. Б. Куликова – Москва: Пищепромиздат, 1951. – 24 с.
13. Beaumont W.R.C., Mann R.H.K. The age, growth and diet of a freshwater population of the flounder, *Platichthys flesus* (L), in southern England // J Fish Biol. 1984. V. 25, Iss. 5. pp. 607-616.
14. Lozan J. L. Investigation on the growth dab (*Limanda limanda* L.) in eight areas of the North Sea and comparisons with earlier findings. Arch. Fish Wise, 1989. v. 39(2), pp. 111-146.
15. Rijnsdorp A. D., Vethaak A. D., Van Leeuwan P. I. Population biology of dab *Limanda limanda* in the southeastern North Sea // Mar. Ecol. Prog. 1992. Ser. 91:19-35.
16. Antoszek A., Krzykowski S. Growth pattern of flounder, *Platichthys flesus* (L.), from the Gulf of Gdansk (southern Baltic Sea). Acta Ichthyol. Piscat. 2005. 35 (1): 51-60.
17. ICES WKARFLO REPORT. Report of the 2nd Workshop on Age Reading of Flounder (WKARFLO). 2008. 54 p.
18. Drevs T., Kadakas, V., Lang, T., Mellergaard, S. Geographical variation in the age/length relationship in Baltic flounder (*Platichthys flesus*) // ICES Journal of Marine Science, 1999. 56: 134-137.
19. Drevs T., Raid T. Comparative study of three alternative methods of aging Baltic flounder (*Platichthys flesus*) // Estonian Journal of Ecology. 2010. V. 59, Iss. 2. pp. 136-146.
20. ICES Stock Annex Stock Annex: Dab (*Limanda limanda*) in Subarea IV and Division IIIa (North Sea, Skagerrak and Kattegat). 2013. 13 p.
21. Юсупов, Р. Р. Морфобиологическая характеристика полярной камбалы *Liopsetta glacialis* (pleuronectidae, pleuronectiformes) Тайской губы (северная часть Охотского моря) / Р.Р. Юсупов, И.Д. Басов // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2005. – № 2. – С. 48-55.
22. Юсупов, Р. Р. Рост и продукция массовых видов камбал (Pleuronectidae) северной части Охотского моря / Р. Р. Юсупов, Ю. К. Семенов, Ю. А. Шилин //

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2015. – № 36. – С. 14-24.

23. Дьяков, Ю. П. Размерно-половая и половозрастная структура популяций дальневосточных камбал (Pleuronectidae) / Ю. П. Дьяков // Известия ТИНРО. – 2014. – Т. 177. – С. 77-113.

24. Световидов, А. Н. Рыбы Черного моря / А. Н. Световидов. – Москва; Ленинград: Наука, 1964. – 552 с.

25. Çiloğlu E. Determination of the Recruitment to Stock and Reproduction Period for Flounder (*Platichthys flesus luscus* Pallas, 1811) along the Trabzon-Rize Coast, Eastern Black Sea. Turk J Vet Anim. Sci. 2005. 29. 43-48.

26. Гроут, Г. Г. Морфоэкологическая изменчивость, биология и промысел камбалы-глоссы *Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1811) бассейна Азовского моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук / ВНИРО; Гроут Г. Г. – Москва, 1986. – 21 с.

27. Chilton, D. E., and Beamish, R. J. Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1982. 60. 102 p.

28. Brodziak J., Mikus R. Variation in life history parameters of Dover sole (*Microstomus pacificus*), off the coasts of Washington, Oregon, and northern California // Fish. Bull. 2000. 98. pp. 661-673.

29. Чугунова, Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб / Н. И. Чугунова. – Москва, 1959. – 164 с.

30. Фукс, Г. В. Методика определения возраста речной камбалы *Platichthys flesus* по отолидам в северо-западных районах арктических морей России / Г. В. Фукс // Международный научный институт «Educatio». – 2015. – XI (18). – С. 27-30.

31. Чешева, З. А. Определение возраста и оценка темпа роста американского макруронуса *Macruronus magellanicus* юго-западной Атлантики / З. А. Чешева // Вопросы ихтиологии. – 1996. – Т. 36. – № 1. – С. 55-59.

32. Золотов, А. О. Сравнение оценок возраста желтоперой (*Limanda aspera* Pallas) и северной двухлинейной (*Lepidopsetta polyxystra* ott et matarese) камбал западной части Берингова моря и восточного побережья Камчатки по чешуе и отолидам / А. О. Золотов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2006. – № 8. – С. 198-206.

33. Осипов, В. В. Методика определения возраста черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Clupeiformes, Clupeoidei) по чешуе и отолидам / В. В. Осипов, В.И. Кияшко // Вопросы ихтиологии. – 2008. – Т. 48. – № 5. – С. 668-674.

34. Куцын, Д. Н. Сравнительный анализ результатов определения возраста азовского леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) по различным регистрирующим структурам / Д. Н. Куцын, И. Н. Иванченко // Вестник южного научного центра. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 59-64.

35. Паленичко, З. Г. Итоги комплексных исследований в Онежском заливе Белого моря / З. Г. Паленичко // Материалы по комплексному исследованию Белого моря. – Москва; Ленинград, 1957. – Вып. 1. – С. 15-43.

36. Пробатов, А. Н. Полярная камбала Карской губы (*Liopsetta glacialis* Pallas) / А. Н. Пробатов // Тр. Новоросс. биол. ст. – 1940. – Вып. 3. – С. 3-20.133.

37. Ojaveer E., Drevs T. Flounder, *Platichthys flesus trachurus* (Duncker). In Fishes of Estonia (Ojaveer, E., Pihu, E. & Saat, T., eds). Estonian Academy Publishers, Tallinn. 2003. pp. 362-370.

REFERENCES

1. Suvorov E. K. K ikhtiofaune Cheshskoy guby [Ichthyofauna of the Cheshskaya bay]. *Trudy instituta po izucheniyu severa*. Izd-vo NTU VSNKh. Moscow, 1929, iss. 43, pp. 101-132.

2. Andriyashev A. P. *Ryby severnykh morey SSSR* [Fish of the Northern seas of the USSR]. Moscow-Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1954, 566 p.

3. Nikolaev A. P. Polyarnaya kambala Onezhskogo zaliva Belogo morya [Arctic flounder in the Onega Bay of the White sea]. *Voprosy ikhtiologii*, 1955, iss. 5, pp. 86-94.

4. Kobelev E. A. Biologiya i promysel polyarnoy kambaly Mezenskogo zaliva i Voronki Belogo morya [Biology and fishery for Arctic flounder and the Mezen Bay of the White Sea Funnel]. *Tez. dokl. region. konf. «Problemy izucheniya, rats. ispol'z. i okhrany prirod. resursov Belogo morya»* [Abstracts of the region. conf. "Problems of study, rational use and protection of natural resources of the White Sea"]. Arkhangel'sk, 1985, pp. 233-234.

5. Kobelev E. A. Nekotorye biologicheskie osobennosti polyarnoy kambaly *Liopsetta glacialis* yugo-vostochnoy chasti Barentseva morya [Some biological peculiarities of the Arctic flounder *Liopsetta glacialis* of the South-Eastern part of the Barents Sea]. *Voprosy ikhtiologii*, 1989, vol. 29, iss. 4, pp. 550-554.

6. Karamushko O. V., Yunacheva O. Yu. Rechnaya kambala pribrezhnykh vod Murmana [European flounder of coastal waters of Murman]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2005, iss.6, pp. 57-59.

7. Dietrich R. Populationsökologie der Plattfische (Fam. Pleuronectidae) im Küsten- und Ästuarbereich des Weißen Meeres: Dissertation an der Math.-Nat. Fakultät der Univ. Rostock, 2009, 154 p.

8. Fuks G. V. Biologicheskaya kharakteristika kambalovykh Belogo morya po dannym 2012 g. [Biological characteristics of flatfish in the White Sea according to the data of 2012]. *Biologicheskie resursy Belogo morya i vnutrennikh vodoemov Evropeyskogo Severa : tez. dokl. XXIX Mezhdunar. konf. (Murmansk, 27-29 marta 2013 g.) PINRO* [Biological resources of the White Sea and inner waters of the European North: abstracts of the XXIX international. Conf. (Murmansk, March 27-29, 2013) PINRO]. Murmansk, [Elektronnyy resurs] 1 el. opt. disk (CD-ROM), 2013. [2 p.]

9. Fuks G. V. Biologiya kambalovykh akvatorii pos. Shoyna Voronki Belogo morya [Biology of flatfish in the waters of the village of Shoyna of the White Sea Funnel]. *Sbornik nauchnykh trudov «Konkurentnyy potentsial severnykh i arkticheskikh regionov»* [Collection of scientific papers "Competitive potential of Northern and Arctic regions"]. Arkhangel'sk, 2014, pp. 122-125.

10. Stes'ko A. V. Rezul'taty issledovaniy lineynogo rosta limandy (*Limanda limanda* L., 1758) Barentseva morya [Research results of linear growth of dab (*Limanda limanda* L., 1758) in the Barents sea]. *Vestnik MGTU*, 2014, T. 17, № 1, pp.171-179.

11. Semushin A. V., Fuks G. V., Shilova N. A. Kambalovye Belogo morya: sovremennye dannye o biologii polyarnoy kambaly *Liopsetta glacialis*, rechnoy

kambaly *Platichthys flesus*, i ershovatki *Limanda limanda* [Flatfish of the White Sea: current data on the biology of the Arctic flounder *Liopsetta glacialis*, European flounder *Platichthys flesus* and common dab *Limanda limanda*]. *Voprosy ikhtiologii*, 2015, vol. 55, iss. 4, pp. 413-425.

12. Betesheva E. I., Zheltenkova M. V., Kulikova E. B. *Biologiya i promysel rechnoy kambaly sredney chasti Baltiyskogo morya* [Biology and fishery of the European flounder of the middle part of the Baltic Sea]. Moscow, Pishchepromizdat, 1951, 24 p.

13. Beaumont W.R.C., Mann R.H.K. The age, growth and diet of a freshwater population of the flounder, *Platichthys flesus* (L), in southern England. *J Fish Biol.* 1984. vol. 25, iss. 5. pp. 607-616.

14. Lozan J. L. Investigation on the growth dab (*Limanda limanda* L.) in eight areas of the North Sea and comparisons with earlier findings. *Arch. Fish Wise*, 1989, iss. 39(2), pp. 111-146.

15. Rijnsdorp A. D., Vethaak A. D., Van Leeuwan P. I. Population biology of dab *Limanda limanda* in the southeastern North Sea. *Mar. Ecol. Prog.* 1992, Ser. 91:19-35.

16. Antoszek A., Krzykowski S. Growth pattern of flounder, *Platichthys flesus* (L.), from the Gulf of Gdansk (southern Baltic Sea). *Acta Ichthyol. Piscat*, 2005, 35 (1): 51-60.

17. ICES WKARFLO REPORT. Report of the 2nd Workshop on Age Reading of Flounder (WKARFLO). 2008, 54 p.

18. Drevs T., Kadakas, V., Lang, T., Mellergaard, S. Geographical variation in the age/length relationship in Baltic flounder (*Platichthys flesus*). *ICES Journal of Marine Science*, 1999, 56:134-137.

19. Drevs T., Raid T. Comparative study of three alternative methods of aging Baltic flounder (*Platichthys flesus*). *Estonian Journal of Ecology*. 2010, vol. 59, iss. 2. pp. 136-146.

20. ICES Stock Annex Stock Annex: Dab (*Limanda limanda*) in Subarea IV and Division IIIa (North Sea, Skagerrak and Kattegat). 2013, 13 pp.

21. Yusupov R. R., Basov I. D. Morfo-biologicheskaya kharakteristika polyarnoy kambaly *Liopsetta glacialis* (pleuronectidae, pleuronectiformes) Tauyskoy guby (severnaya chast' Okhotskogo morya) [Morpho-biological characteristics of the Arctic flounder *Liopsetta glacialis* (Pleuronectidae, pleuronectiformes) of the Tau Bay (Northern part of the Okhotsk Sea)]. *Vestnik SVNTs DVO RAN*, 2005, iss. 2, pp. 48-55.

22. Yusupov R. R., Semenov Yu. K., Shilin Yu. A. Rost i produktsiya massovykh vidov kambal (Pleuronectidae) severnoy chasti Okhotskogo morya [Growth and production of mass species of flounder (Pleuronectidae) in the Northern part of the Okhotsk Sea]. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severozapadnoy chasti Tikhogo okeana* [Study of water biological resources of Kamchatka and Northwest Pacific ocean]. 2015, iss. 36. pp. 14-24.

23. D'yakov Yu. P. Razmerno-polovaya i polovozrastnaya struktura populyatsiy dal'nevostochnykh kambal (Pleuronectidae) [Length, sex and age structure of populations of the Far Eastern flounder (Pleuronectidae)]. *Izvestiya TINRO*, 2014, vol. 177. pp. 77-113.

24. Svetovidov A. N. *Ryby Chernogo moray* [Fish of the Black sea]. Moscow, Leningrad, Nauka, 1964, 552 p.

25. Çiloğlu E. Determination of the Recruitment to Stock and Reproduction Period for Flounder (*Platichthys flesus luscus* Pallas, 1811) along the Trabzon-Rize Coast, Eastern Black Sea. Turk J Vet Anim. Sci. 2005, vol. 29, pp. 43-48.

26. Grout G. G. Morfoekologicheskaya izmenchivost', biologiya i promysel kambaly-glossy *Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1811) basseyna Azovskogo morya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. [Morphological variability, biology and fishery of plaice-Glossa *Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1811) of the Azov sea basin: abstract. dis. kand. Biol. Sci.]. VNIRO, Moscow, 1986, 21 p.

27. Chilton D. E., and Beamish R. J. Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1982, vol. 60, 102 p.

28. Brodziak J., Mikus R. Variation in life history parameters of Dover sole (*Microstomus pacificus*), off the coasts of Washington, Oregon, and northern California. Fish. Bull. 2000, vol. 98, pp. 661-673.

29. Chugunova N. I. *Rukovodstvo po izucheniyu vozrasta i rosta ryb* [Guide for the study of age and growth of fish]. Moscow, 1959, 164 p.

30. Fuks G. V. Metodika opredeleniya vozrasta rechnoy kambaly *Platichthys flesus* po otolitam v severo-zapadnykh rayonakh arkticheskikh morey Rossii [Method of determining the age of European flounder *Platichthys flesus* for otoliths in the North-Western areas of the Arctic seas of Russia]. *Mezhdunarodnyy Nauchnyy Institut «Educatio»* [International Scientific Institute "Educatio"]. 2015, iss. XI (18), pp. 27-30.

31. Chesheva Z. A. Opređenje vozrasta i otsenka tempa rosta amerikanskogo makruronusa *Macruronus magellanicus* yugo-zapadnoy Atlantiki [Age determination and estimation of growth rate of American Hoki *Macruronus magellanicus* in the South-West Atlantic]. *Voprosy ikhtiologii*, 1996, vol. 36, iss. 1, pp. 55-59.

32. Zolotov A. O. Sravnenie otsenok vozrasta zheltoperoy (*Limanda aspera* Pallas) i severnoy dvukhlineynoy (*Lepidopsetta polyxystra* orr et matarese) kambal zapadnoy chasti Beringova morya i vostochnogo poberezh'ya Kamchatki po cheshue i otolitam [Comparison of estimates of age of yellowfin (*Limanda aspera* Pallas) and Northern two-linear (*Lepidopsetta polyxystra* orr et matarese) flounder in the Western part of the Bering Sea and the Eastern coast of Kamchatka by scales and otoliths]. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* [Research of water biological resources of Kamchatka and Northwest Pacific ocean]. 2006, iss. 8, pp. 198-206.

33. Osipov V. V. Kiyashko V.I. Metodika opredeleniya vozrasta chernomorsko-kaspiyskoy tyul'ki *Clupeonella cultriventris* (Clupeiformes, Clupeoidei) po cheshue i otolitam [Method of determination of age of the Black Sea and Caspian sprat *Clupeonella cultriventris* (Clupeiformes, Clupeoidei) by scales and otoliths]. *Voprosy ikhtiologii*, 2008, vol. 48, iss. 5, pp. 668-674.

34. Kutsyn D. N. Ivanchenko I. N. Sravnitel'nyy analiz rezul'tatov opredeleniya vozrasta azovskogo leshcha (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) po razlichnym registriruyushchim strukturam [Comparative analysis of the results of determining the age of the Azov bream (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) under different registered structures]. *Vestnik yuzhnogo nauchnogo tsentra*, 2014, vol. 10, iss. 2, pp. 59-64.

35. Palenichko Z. G. Itogi kompleksnykh issledovaniy v Onezhskom zalive Belogo morya [The results of comprehensive research in the Onega Bay of the White

sea]. *Materialy po kompleksnomu issledovaniyu Belogo moray* [Materials on the complex study of the White Sea]. Moscow, Leningrad, 1957, vol. 1, pp. 15-43.

36. Probatov A. N. Polyarnaya kambala Karskoy guby (*Liopsetta glacialis* Pallas) [Arctic flounder of the Kara Bay (*Liopsetta glacialis* Pallas)]. *Tr. Novoross. biol. St.* 1940, vol. 3. pp. 3-20.133.

37. Ojaveer E., Drevs T. Flounder, *Platichthys flesus trachurus* (Duncker). In *Fishes of Estonia* (Ojaveer, E., Pihu, E. & Saat, T., eds). Estonian Academy Publishers, Tallinn, 2003, pp. 362-370.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фукс Геннадий Валериевич – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича» (ФГБНУ «ПИНРО»), Северный филиал ФГБНУ «ПИНРО» (СевПИНРО); старший научный сотрудник;
E-mail: fuks@pinro.ru

Fuks Gennady Valerievich – Federal State Budgetary Scientific Institution «Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography» (PINRO), Northern branch PINRO (SevPINRO); senior researcher; E-mail: fuks@pinro.ru

Семущин Андрей Владимирович – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича» (ФГБНУ «ПИНРО»), Северный филиал ФГБНУ «ПИНРО» (СевПИНРО); заместитель директора, кандидат биологических наук; E-mail: andr@pinro.ru

Semushin Andrey Vladimirovich – Federal State Budgetary Scientific Institution «Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography» (PINRO), Northern branch PINRO (SevPINRO); deputy director, PhD in Biological Sciences; E-mail: andr@pinro.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 681.526.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОКОНТУРНОЙ И КАСКАДНОЙ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА
В ПАРОМАСЛЯНОЙ ПЕЧИ

Н. С. Будченко, Н. А. Долгий

COMPARATIVE ANALYSIS OF SINGLE CIRCUIT AND CASCADE
AUTOMATIC OIL TEMPERATURE CONTROL SYSTEMS IN A STEAM-OIL
OVEN

N. S. Budchenko, N. A. Dolgiy

Задачу управления температурой масла можно разделить на подзадачи: определение рационального диапазона температуры масла с точки зрения качества и расхода масла на единицу массы получаемого продукта; коррекция температуры масла для обеспечения желаемого процента ужаривания рыбы при изменяющихся свойствах сырья и фиксированном времени обжаривания. Результаты исследований показывают, что обжаривание рыбы рационально проводить при температуре масла 140-150°C. Коррекция управляющих воздействий (давление насыщенного пара и соответствующая температура активного слоя масла) должна быть направлена на достижение требуемой потери массы при изменении свойств сырья. Решалась задача повышения качества управления температурой масла в печи с помощью каскадной системы автоматического регулирования (САР). Давление пара поддерживается вспомогательным регулятором, а основной регулятор решает задачу стабилизации температуры масла в паромасляной печи. Для поддержания основной выходной координаты (температуры масла) на заданном значении без статической ошибки закон регулирования основного регулятора должен включать интегральную составляющую (И). При использовании пропорционального и пропорционально-интегрального регуляторов условие оптимальной настройки решаем, рассматривая три параметра настройки. В принятой структуре системы управления регулятор давления пара обеспечивает быстрый выход печи на рабочий режим с последующей стабилизацией давления в течение первого цикла обжаривания, а в квазиустановившемся режиме регулятор температуры масла меняет задание регулятору давления так, чтобы стабилизировать температуру масла на выходе из печи на желаемом уровне. Каскадная САР эффективна, так как инерционности по каналам основного и вспомогательного параметров значительно отличаются друг от друга. Разработанная двухконтурная система управления температурой масла в паромасляной рыбообжарочной печи обеспечивает ускорение времени выхода ее на рабочий режим и снижает чувствительность системы к основным возмущающим воздействиям.

паромасляная рыбообжарочная печь, система автоматического регулирования (САР), давление пара, температура масла, одноконтурная САР,

каскадная САР, регулятор, объект управления, возмущение, управляющие воздействия

The task of controlling oil temperature can be divided into the following subtasks: determination of a rational range of oil temperature in terms of quality and oil consumption per unit mass of the product; correction of the oil temperature to ensure the desired percentage of fish roasting losses with varying raw material properties and fixed frying time. The results of the studies show that fish frying is rationally performed at an oil temperature of 140-150 °C. Correction of control actions (saturated steam pressure and the corresponding temperature of the active layer of oil) should be aimed at achieving the required mass loss when the properties of the raw material change. The task was to improve the quality of oil temperature control in the furnace with the help of a cascade automatic control system (ACS). The vapor pressure is maintained by the auxiliary regulator. Main regulator solves the problem of stabilizing the temperature of the oil in the steam-oil furnace. To maintain the main output coordinate (oil temperature) at a given value without a static error, the main controller regulation law must include the integral component (I). When using proportional and proportional-integral regulator, the optimal tuning condition is solved by considering 3 tuning parameters. In the adopted structure of the control system, the steam pressure regulator ensures a quick outlet of the furnace to the operating mode. It is followed by a stabilization of the pressure during the first frying cycle, and in the quasi-steady state, the oil temperature regulator changes the setting to the pressure regulator so as to stabilize the oil temperature at the output of the furnace at the desired level. Cascade ACS is effective, because the inertia along the channels of the main and auxiliary parameters is significantly different from each other. The developed two-circuit oil temperature control system in the steam-oil frying oven ensures acceleration of the furnace exit time to the operating mode and reduces the sensitivity of the system to the main disturbing effects.

steam-oil frying oven, automatic control system, steam pressure, oil temperature, single-circuit ACS, cascade ACS, regulator, control object, disturbance, control actions

ВВЕДЕНИЕ

Обжаривание рыбы производится в паромасляной печи при температуре масла 145-160°C.

Разработка эффективной системы управления рыбообжарочной печью позволит повысить качество консервов из обжаренной рыбы и снизить их себестоимость.

Для поддержания необходимой величины процента у жаривания – основного показателя качества обжариваемой рыбы – в печи должна быть обеспечена возможность изменения температуры масла или продолжительности обжаривания.

По окончании обжаривания на поверхности рыбы образуется равномерно поджаренная золотистая корочка, а при разламывании кусков мясо свободно

отделяется от костей. Температура внутри обжаренной до готовности рыбы должна быть не менее 75°C [1, 2].

Исследование процесса обжаривания рыбы показывает [3-5], что температура обжаривания в пределах $145\pm 5^{\circ}\text{C}$ обеспечивает приемлемое качество готового продукта, включая консистенцию, впитываемость масла и срок его службы.

Рыбообжарочная печь имеет следующие технические параметры: средняя производительность печи по сырью 800, расход пара в период обжаривания – 330 кг/ч, рабочее избыточное давление греющего пара – 1 МПа, объем масла в ванне – 1,4, объем воды в ванне – $0,9\text{ м}^3$; поверхность двух теплообменников – $36,8\text{ м}^2$ [6].

При автоматизации паромасляных печей основные регулируемые параметры – температура, уровень масла, продолжительность обжаривания рыбы, температура и уровень воды в ванне печи.

Время обжаривания τ , расход $G_{\text{п}}$ и энтальпия пара $i_{\text{п}}$ являются основными управляющими воздействиями, позволяющими достичь необходимый процент жаривания рыбы $\Delta t_{\text{р}}$.

Анализ результатов моделирования и обследование рыбоконсервных производств показывают, что основными возмущениями, влияющими на качество процесса регулирования, являются изменения массового расхода сырья $\Delta G_{\text{р}}$, подаваемого в рыбообжарочную печь, доливка масла $\Delta G_{\text{м}}$ и нестабильность давления пара $\Delta P_{\text{п}}$.

Способы управления, минимизирующие время переходного процесса по температуре масла, должны учитывать ограничения на основное управляющее воздействие (давление пара в теплообменнике) и достижение технологически необходимой температуры на выходе печи к моменту загрузки рольганга рыбой [7].

В системах автоматического регулирования температуры масла в печи в основном применяются позиционные регуляторы. Проведенные исследования показывают, что для паромасляных печей позиционный регулятор не может обеспечить необходимое качество процесса регулирования [8]. Полученные значения динамических параметров печи (запаздывания, постоянной времени) показывают отношение $\frac{\tau}{T} = 0.3$, что доказывает непригодность позиционного регулирования и необходимость использования для стабилизации температуры масла в печи пропорционального (П) и пропорционально-интегрального (ПИ) законов регулирования.

Повышение качества процесса регулирования температуры обеспечивается разработанной каскадной системой регулирования температуры масла со стабилизирующим регулятором.

Система управления печью должна минимизировать время запуска печи при ограниченной температуре теплообменника; обеспечить отсутствие локальных перегревов масла, независимость выходной переменной (температуры масла) до допустимого значения по отношению к главным возмущающим воздействиям (изменения массового расхода сырья $\Delta G_{\text{р}}$ и нестабильность давления пара $\Delta P_{\text{п}}$) [9].

МЕТОДЫ

Выбор структуры системы автоматического регулирования температуры в печи и параметров настройки регуляторов проведен методом моделирования с использованием пакета прикладных программ VisSim v6.0A.

Для исследования влияния изменений расхода рыбы, параметров пара на динамику изменения температуры масла и, соответственно, процента ужаривания рыбы математическая модель рыбообжарочной печи как объекта управления была представлена системой уравнений материального и энергетического баланса для пара, теплопередающих стенок теплообменника и масла.

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{\text{п}} = K_{\text{в}} \cdot \sqrt{(P_1 - P_2)}, \\ I_{\text{п}} \cdot V_{\text{п}} \cdot \frac{d\rho_{\text{п}}}{d\tau} = G_{\text{п}} \cdot (I_{\text{п}} - I_{\text{к}}) - \alpha_{\text{п-с}} \cdot F_{\text{с}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{с}}), \\ m_{\text{с}} \cdot c_{\text{с}} \frac{dt_{\text{с}}}{d\tau} = G_{\text{п}} \cdot r_{\text{п}} - \alpha_{\text{с-м}} \cdot F_{\text{с}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{м}}), \\ m_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \frac{dt_{\text{м}}}{d\tau} = \alpha_{\text{с-м}} \cdot F_{\text{с}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{м}}) - G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м}} - t_{\text{м.0}}) - \\ - \alpha_{\text{м-р}} \cdot k_{\text{р}} \cdot m_{\text{р}} \cdot (t_{\text{м}} - t_{\text{р}}) - \alpha_{\text{м}} \cdot \frac{V_{\text{м.д.}}}{h_{\text{м.д.}}} (t_{\text{м}} - t_{\text{м.д.}}) \end{array} \right. , \quad (1)$$

где $G_{\text{п}}$ – расход пара, м³/ч; $K_{\text{в}}$ – пропускная способность клапана, м³/ч; P_1 – входное давление пара, бар; P_2 – выходное давление пара, бар; $V_{\text{п}}$ – объем, занимаемый паром, м³; $\rho_{\text{п}}$ – плотность пара, кг/м³; $G_{\text{п}}$ – расход пара, кг/с; $G_{\text{к}}$ – расход конденсата, кг/с; $I_{\text{п}}$ – энтальпия пара, Дж/кг; $I_{\text{к}}$ – энтальпия конденсата, Дж/кг; $\alpha_{\text{п-с}}$ – коэффициент теплоотдачи от пара к стенке теплообменника, Вт/(м²*К); $F_{\text{с}}$ – площадь теплообменника, м²; $t_{\text{п}}$ – температура пара, °С; $t_{\text{с}}$ – температура стенки теплообменника, °С; $c_{\text{с}}$ – теплоемкость теплообменника, Дж/(кг*К); $m_{\text{с}}$ – масса теплообменника, кг; $\alpha_{\text{с-м}}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменника к маслу, Вт/(м²*К); $r_{\text{п}}$ – удельная теплота конденсации пара, Дж/кг; $t_{\text{м}}$ – температура масла, °С; $c_{\text{м}}$ – теплоемкость масла, Дж/(кг*К); $m_{\text{м}}$ – масса масла в печи, кг; $m_{\text{р}}$ – масса рыбы в печи, кг; $k_{\text{р}} = F_{\text{р}}/m_{\text{р}}$; $m_{\text{р}}$ – масса рыбы, кг; $\alpha_{\text{м-р}}$ – коэффициент теплоотдачи от масла к рыбе, Вт/(м²*К); $t_{\text{р}}$ – температура рыбы, °С; $t_{\text{м.0}}$ – начальная температура масла, °С; $V_{\text{м.д.}}$ – объем добавляемого масла, м³; $h_{\text{м.д.}}$ – высота добавляемого масла, м; $t_{\text{м.д.}}$ – температура добавляемого масла, °С.

Методом структурных преобразований получена передаточная функция ванны печи как объекта управления, определяющая динамические характеристики объекта как отношение изображений Лапласа выходного параметра - температуры масла в ванне печи $\Delta t_{\text{м}}$ и управляющего воздействия - давления пара в теплообменнике $\Delta P_{\text{п}}$:

$$W_{\text{у}}(p) = \frac{\Delta t_{\text{м}}}{\Delta P_{\text{п}}} = \frac{14}{(221p+1)*(1,2p+1)*(0,27p+1)} e^{-60p}, \quad (2)$$

где $\Delta t_{\text{м}}$ – изменение температуры масла в печи, °С; $\Delta P_{\text{п}}$ – изменение давления пара в теплообменнике, Па.

Наибольшая постоянная времени $T = 221$ с значительно превышает остальные, что позволяет синтезировать управление по модели первого порядка:

$$W_y(p) = \frac{\Delta t_M}{\Delta P_n} = \frac{14}{221p+1} e^{-60p}. \quad (3)$$

На рис. 1 показана структурная схема одноконтурной системы автоматического регулирования температуры масла в ванне печи с ПИ-регулятором и результаты моделирования по каналу управления (давление пара-температура масла). Параметры регулятора рассчитаны методом Циглера-Никольса, основанном на использовании запасов устойчивости [10].

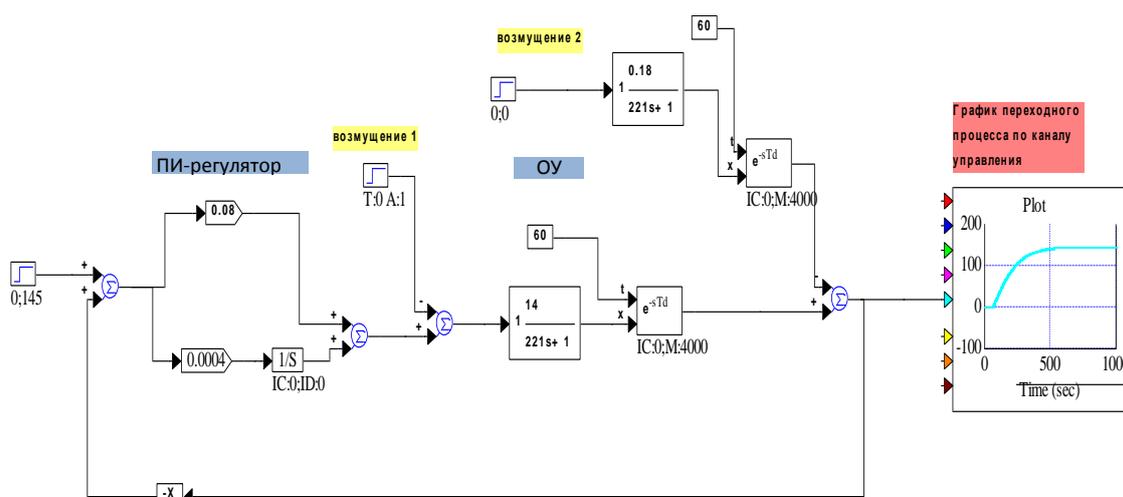


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной САУ температуры масла в ванне печи и результаты моделирования по каналу управления
 Fig. 1. Structural diagram of a single circuit ACS of the oil temperature in the furnace bath and simulation results on the control channel

Передаточная функция рыбообжарочной печи по возмущению 1 (колебания давления пара в сети – уменьшение на 15 %) имеет вид

$$W_{F1} = K_1 \quad (4)$$

по возмущению 2 (изменение массового расхода сырья на 20 %):

$$W_{F2} = \frac{K_2}{T \cdot p + 1}, \quad (5)$$

где K_1 – коэффициент передачи по возмущению 1; $K_1 = 1,5$; K_2 – коэффициент передачи по возмущению 2; $K_2 = 0,18$; T – постоянная времени; $T = 221$ с.

Постоянные времени и коэффициенты передачи подсчитаны с учетом вышеприведенных параметров паромасляной рыбообжарочной печи. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W(p)_{\text{рег}} = K_p + \frac{K_i}{p}, \quad (6)$$

где K_p, K_i – настроечные параметры, полученные по формулам:

$$K_p = 0,45 \cdot K_p^*, \quad (7)$$

$$K_i = \frac{0,54 \cdot K_p^*}{T^*}, \quad (8)$$

где K_p^* – значение коэффициента передачи П-регулятора, при котором система находится на границе устойчивости; T^* – период установившихся в системе колебаний.

Значения K_p^* и T^* находим из рис. 2, фиксируем значение коэффициента передачи регулятора и измеряем период установившихся в системе колебаний.

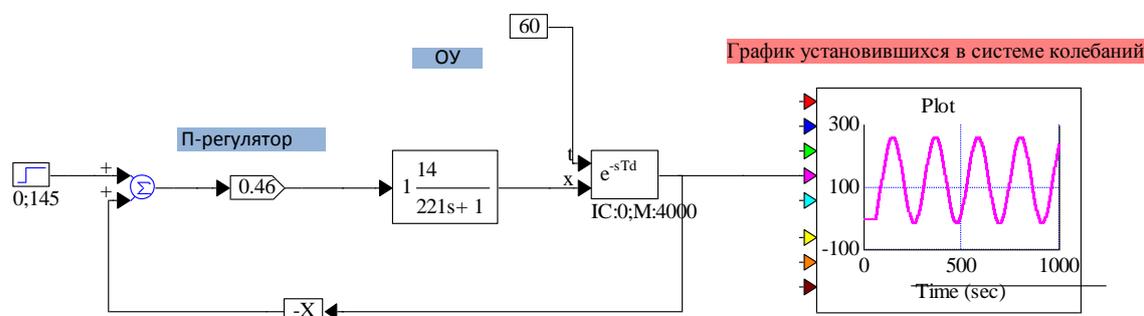


Рис. 2. САР на границе устойчивости
Fig. 2. ACS at the stability boundary

При анализе качества переходного процесса одноконтурной САР подавалось давление пара, обеспечивающее температуру масла 145°C.

Прямые показатели качества, полученные из графика (рис.1): статическая ошибка отсутствует, перерегулирование $\sigma = 0 \%$, время регулирования $t_p = 450$ с, что определяет быстродействие системы.

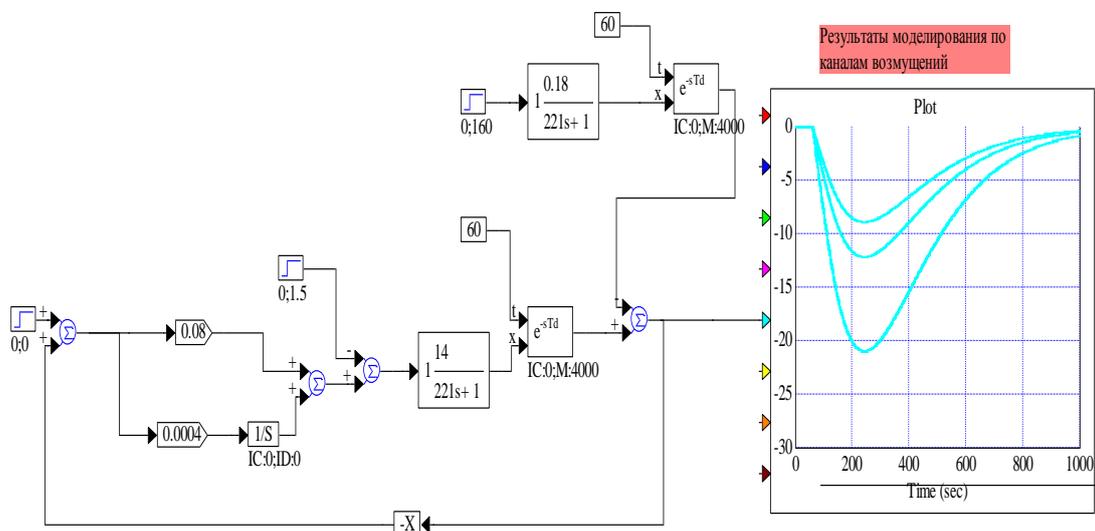


Рис. 3. Структурная схема САР температуры масла и результаты моделирования по каналам возмущений (увеличение расхода рыбы на 20 % от номинального и уменьшение давления пара в сети на 15 % от номинального)
Fig. 3. Structural diagram of the oil temperature ACS and simulation results for the disturbance channels (increase in fish consumption by 20 % of the nominal and reduction of steam pressure in the network by 15 % of the nominal value)

Как видно из приведенных графиков переходных процессов на рис. 3, вызванных возмущающими воздействиями (одновременным влиянием колебаний давления пара в сети и расхода рыбы на входе в печь), на входе объекта перерегулирование отсутствует. При оценке длительности переходного процесса, вызванного единичным возмущающим воздействием на входе, максимальное динамическое отклонение 21°C . Полученные показатели качества регулирования показывают, что одноконтурная САР не удовлетворяет заданным показателям качества процесса регулирования температуры.

С целью повышения качества управления основные исследования проводились с использованием системы каскадного регулирования. Системы этого типа позволяют повысить быстродействие внутреннего контура, тем самым повысить качество переходного процесса.

Подсистема на рис. 4 является системой нижнего уровня, реализуется П-регулятором 1, поддерживающим на заданном уровне выходную величину в объекте 1.

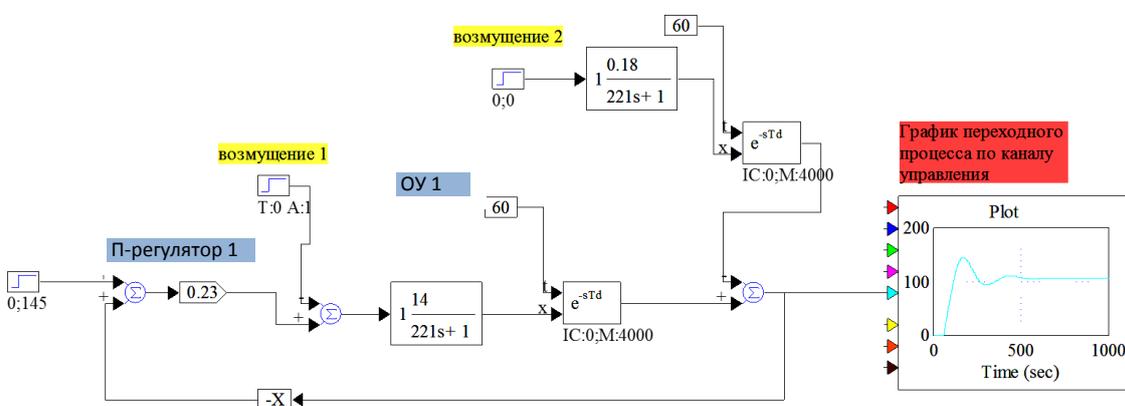


Рис. 4. Схема системы нижнего уровня с П-регулятором 1

Fig. 4. Schematic diagram of a lower-level system with a P-regulator 1

Объектом системы верхнего уровня, приведенной на рис. 5, является передаточная функция эквивалентного объекта, полученного из рис. 4:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{W_p(s) \cdot W_o(s)}{1 + W_p(s) \cdot W_o(s)} \quad (9)$$

В результате расчетов получим

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{3.22}{221s + 4.22} \quad (10)$$

Регулирование объекта (паромазная печь) с регулируемой величиной – температура масла Δt_m и одним регулирующим воздействием ΔP_n осуществляется двумя регуляторами: П-регулятор 1 (см. рис.3.) и ПИ-регулятор 2 (рис. 5). Отклонение регулируемой величины от заданного значения воспринимается регулятором 2, который меняет команду, поступающую на регулятор 1. Регулятор давления пара обеспечивает быстрый выход печи на рабочий режим, а регулятор температуры масла меняет задание регулятору давления так, чтобы стабилизировать температуру масла на выходе из печи на желаемом уровне. В

каскадной системе управления коррекция температурного режима обжаривания при изменяющихся свойствах сырья достигается использованием контура адаптации, определяющего задание регулятору температуры масла, по результатам измерения процента ужаривания рыбы.

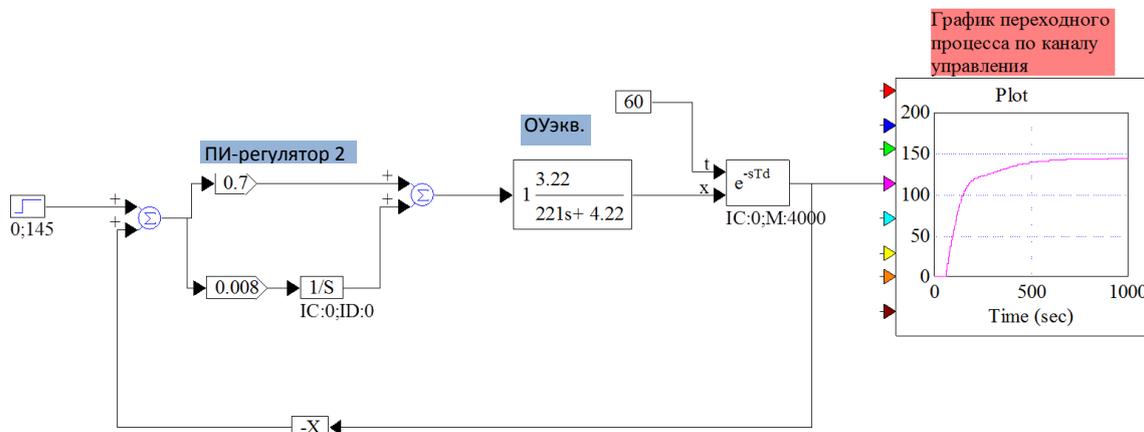


Рис. 5. Структурная схема системы верхнего уровня с ПИ-регулятором и эквивалентным объектом

Fig. 5. Structural diagram of a top-level system with a PI controller and an equivalent object

Расчет настроек каскадной системы регулирования предполагает определение настроек основного и вспомогательного регуляторов при заданных динамических характеристиках объекта по основному и вспомогательному каналу. На первом этапе рассчитывали методом Циглера-Никольса параметры стабилизирующего регулятора, а на втором – настройки основного корректирующего регулятора. На втором этапе в структуру объекта управления включен стабилизирующий контур регулирования, в расчете использовали передаточную функцию эквивалентного объекта.

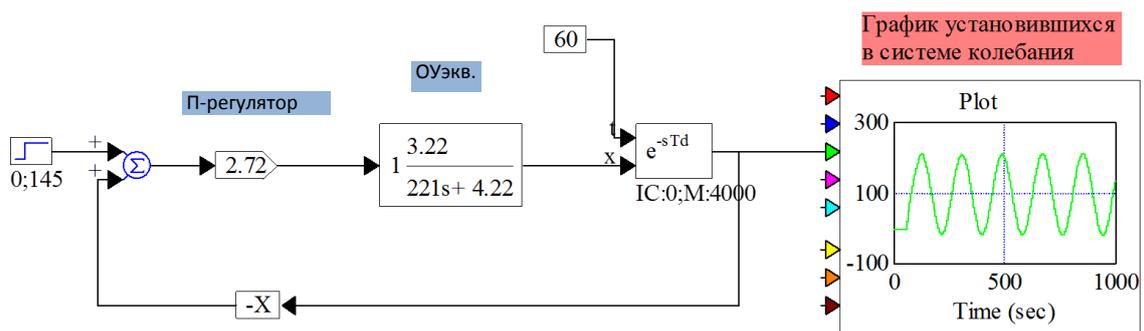


Рис. 6. САУ с эквивалентным объектом на границе устойчивости

Fig. 6. ACS with an equivalent object at the stability boundary

Объект управления исследовался в программе Vissim v6.0A, где было определено экспериментально критическое значение коэффициента усиления пропорционального П-регулятора и вычислены настройки ПИ - регулятора.

В режиме прогрева печи допускается использование П-регулятора. Астатизм системы управления в целом обеспечивается использованием ПИ-регулятора в контуре управления температурой масла. Параметры настройки регуляторов определялись с учетом требования монотонности переходного процесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор структуры САР и параметров настройки регуляторов проведен методом моделирования с использованием пакета прикладных программ Vissim v6.0A.

Результаты моделирования переходного процесса двухконтурной САР при принятых выше условиях по каналам возмущений показаны на рис. 7.

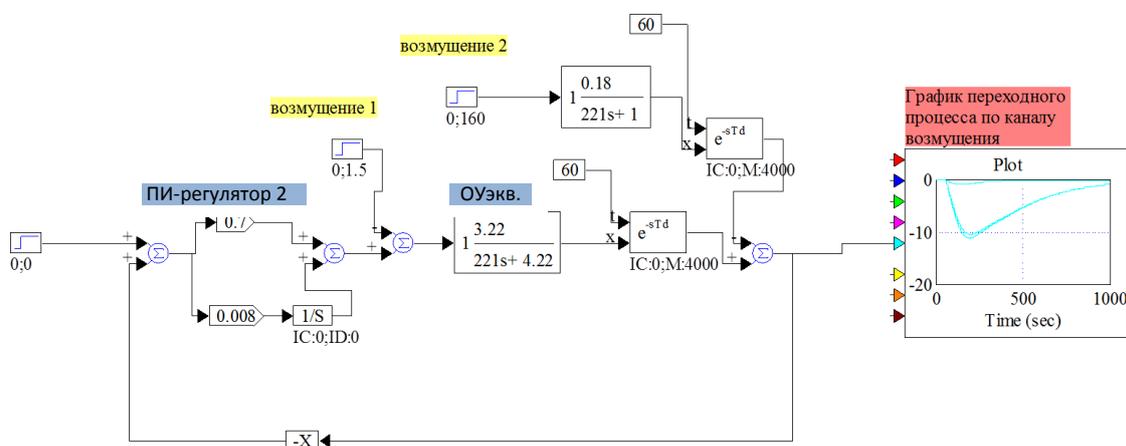


Рис. 7. Результаты моделирования по каналам возмущений каскадной САР
 Fig. 7. Simulation results on the cascade ACS perturbation channels

Как видно из приведенных графиков переходных процессов каскадной САР (рис. 7), вызванных возмущающими воздействиями (одновременным влиянием колебаний давления пара в сети и расхода рыбы на входе в печь), на входе объекта перерегулирование отсутствует. Время регулирования составит 50 с, максимальное динамическое отклонение 11°C . Полученные фактические показатели качества регулирования температуры показывают, что каскадная САР удовлетворяет заданным показателям качества, предъявляемым к процессу регулирования температуры масла. Каскадная система автоматического регулирования обеспечивает ускорение времени выхода печи на рабочий режим и снижает чувствительность системы к основным возмущающим воздействиям.

ВЫВОДЫ

Из полученных характеристик видно, что качество переходного процесса в каскадной системе значительно выше, чем в одноконтурной САР. Динамическое отклонение в каскадной САР при подаче возмущающего воздействия

уменьшилось в 2 раза, а время переходного процесса – в 1,6 раза по сравнению с одноконтурной системой. Таким образом, можно сделать вывод, что применение каскадной САР температуры в паромасляной рыбообжарочной печи целесообразно и позволит повысить качество процесса обжаривания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога рыбной промышленности: в 4 т. / под общ. ред. В. М. Новикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Пищевая промышленность, 1972. – Т. 4. – 488 с.
2. Справочник по производству консервов: в 4 т. – Москва: Пищевая промышленность, 1971. – Т. 3. Консервы из мяса, рыбы и молока. – 656 с.
3. Баранов, В. В. Динамика обезвоживания кусков и филе рыбы при обжаривании в растительном масле / В. В. Баранов и др. // Технология водного сырья Атлантического океана: труды КТИРПХ. – Калининград, 1988. – Вып. 75. – С. 43-49.
4. Платонов, П. Н Влияние режимов обжарки рыбы на продуктовые потери / П. Н. Платонов, Г. И. Русланов // Известия вузов. Пищевая технология. – 1989. – № 1. – С. 70-72.
5. Бердышев, Д. О. К оценке температурного режима обжаривания рыбы / Д. О. Бердышев // Рыбное хозяйство. – 1979. – № 8. – С. 58-60.
6. Печь обжарочная Н10-ИЖР-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1982. – 37 с.
7. Карпин, Е. Б. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / под ред. Е. Б. Карпина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропроиздат., 1985. – 536 с.
8. Эйдельштейн, И. Л. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов рыбообрабатывающей промышленности / И. Л. Эйдельштейн. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.
9. Сердобинцев, С. П. Совершенствование процесса обжаривания рыбы / С. П. Сердобинцев, Н. С. Будченко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – №1. – С. 46-50.
10. Gherbi S., Bouchared F. Optimal Tuning of a Fuzzy Immune PID parameters to control a delayed system. Word academy of science, engineering and technology international journal of electrical, electronics and communications engineering. Vol. 8, no. 6. 2014, pp. 44-48.

REFERENCES

1. Novikov V. M. *Spravochnik tekhnologa rybnoy promyshlennosti* [Reference book of the fish industry technologist]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1972, vol. 4, 488 p.
2. *Spravochnik po proizvodstvu konservov* [Reference book for canned food production]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1971, vol. 3, 656 p.

3. Baranov V. V. *Dinamika obezvozhvaniya kuskov i file ryby pri obzharivanii v rastitel'nom masle* [Dynamics of dehydration of chunks and fish fillets during frying in vegetable oil]. *Tekhnologiya vodnogo syr'ya Atlanticheskogo okeana. Trudy KTIRPKH*, 1988, iss. 75, pp. 43-49.
4. Platonov P. N., Ruslanov G. I. *Vliyanie rezhimov obzharki ryby na produktovye poteri* [Influence of fish frying regimes on food losses]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1989, no. 1, pp. 70-72.
5. Berdysev D. O. *K otsenke temperaturnogo rezhima obzharivaniya ryby* [On evaluation on the temperature regime of fish frying]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1979, no. 8, pp. 58-60.
6. Pech' obzharochnaya N10-IZhR-2. *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [Furnace frying H10-IZHR-2. Technical description and user manual]. 1982, 37p.
7. Karpin E.B. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov pishchevykh proizvodstv* [Automation of manufacturing procedures of food production]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 536 p.
8. Eydelshteyn I. L. *Osnovy avtomatiki i avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov ryboobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Fundamentals of automation of fish processing industry processes]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1979, 288 p.
9. Serdobintsev S. P., Budchenko N. S. *Sovershenstvovanie protsessa obzharivaniya ryby* [Improving the process of fish frying]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya*, 2003, no. 1, pp. 46-50.
10. Gherbi S., Bouchared F. *Optimal Tuning of a Fuzzy Immune PID parameters to control a delayed system*. Word academy of science, engineering and technology international journal of electrical, electronics and communications engineering. 2014, vol. 8, no. 6, pp. 44-48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Будченко Наталья Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов; E-mail: Natalya.budchenko@klgtu.ru

Budchenko Natalya Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Automation of production processes; E-mail: Natalya.budchenko@klgtu.ru

Долгий Николай Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры автоматизации производственных процессов; E-mail: dolgi@klgtu.ru

Dolgiy Nikolay Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor, Department of Automation of production processes; E-mail: dolgi@klgtu.ru

УДК 664.8

ОБОСНОВАНИЕ СРОКА ХРАНЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННОГО ФОРМОВАННОГО ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В. В. Гаурильчикайте, О. Н. Анохина

JUSTIFICATION OF THE EXPIRATION DATE OF THE FROZEN FORMED SEMI-FINISHED PRODUCT FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

V. V. Gaurilchikayte, O. N. Anokhina

На основании санитарно-микробиологических и органолептических исследований обоснован срок хранения замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья. В состав рецептуры входят следующие компоненты: морковь, кабачок, перец сладкий, кукурузная мука, овсяные хлопья, меланж, соль, панировочные сухари. Кукурузная мука и овсяные хлопья введены в рецептуру для улучшения качества выпускаемого полуфабриката. Целью введения данного сырья было не только обогащение продукта, но и выполнение структурообразующей функции между компонентами овощной смеси, повышение содержания пищевых волокон в полуфабрикате. Выбрана степень измельчения моркови. Проведено санитарно-микробиологическое исследование быстрозамороженных овощных котлет в процессе 120-дневного хранения. Определены следующие санитарно-микробиологические показатели в быстрозамороженных овощных котлетах: КМАФАнМ; БГКП; дрожжи; бактерии рода *Salmonella*. Показатель КМАФАнМ в исследуемых овощных котлетах не изменялся в течение всего срока хранения. БГКП, дрожжи, бактерии рода *Salmonella* не обнаружены в исследуемом продукте. Проведена органолептическая оценка качества овощных котлет в процессе хранения. После 90-дневного хранения полуфабрикат лишь немного утратил свои первоначальные свойства: органолептическая оценка к 120 сут хранения снизилась по показателям «вкус», «запах», «консистенция» – до 4 баллов. По результатам дегустационного анализа образец с измельчением моркови на мелкой терке показал себя лучше, чем образец с измельчением на крупной терке. По полученным данным, сделан вывод, что рекомендуемый срок хранения быстрозамороженных овощных котлет составляет 90 сут. Дальнейшее хранение ведет к более ярко выраженному снижению органолептических показателей полуфабриката.

растительное сырье, полуфабрикат, овощные котлеты, микробиологические показатели, органолептические показатели

Based on the sanitary-microbiological, physicochemical and organoleptic researches, the shelf life of the frozen formed semi-finished product from vegetable raw materials was justified. The formulation includes the following components: carrot, marrow squash, sweet pepper, corn flour, oat flakes, melange, salt, breadcrumbs. Corn flour and oat flakes were included in order to improve the quality of the produced semi-finished product. The aim of this inclusion was not only the enrichment of the product

but also implementation of the structure-binding function of the vegetable mixture and increase in the content of dietary fibers in the semi-finished product. We chose the degree of chopping carrots. A sanitary-microbiological study of fast-frozen vegetable cutlets was carried out during 120-day storage. The following sanitary-microbiological indicators were determined in quick-frozen vegetable cutlets: QMAFAnM; CGB; yeast; Salmonella bacteria. The indicator of QMAFAnM in the investigated vegetable cutlets had not been changed in the terms of storage. BGKP, yeast, Salmonella bacteria are not found in the investigated product. Organoleptic evaluation of the quality of vegetable cutlets was carried out during storage. After 90 days of storage, the semi-finished product did not lose its high properties, but only slightly decreased in "taste", "smell", "consistency" - up to 4 points. According to the results of the organoleptic analysis, the sample with carrots grinded on a fine grater proved to be better than other ones with carrots grinded on a large grater. According to the received data, we concluded that the recommended shelf life for quick-frozen vegetable cutlets is 90 days. Further storage leads to deterioration in the organoleptic characteristics of the semi-finished product.

vegetable raw materials, semi-finished product, vegetable cutlets, microbiological indicators, physical and chemical indicators, organoleptic indicators

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду того, что овощи являются скоропортящимися продуктами, особое значение приобретает их технологическая переработка. При производстве полуфабриката из растительного сырья высокой степени готовности используется такая технологическая операция, как быстрое замораживание.

Быстрое замораживание предотвращает потери от порчи и убыли массы свежей и переработанной продукции, позволяет длительно сохранять ее пищевую и биологическую ценность, обеспечивает высокий уровень микробиологической безопасности. Усиление потребительского спроса в отношении здорового питания подталкивает производителей овощеперерабатывающей отрасли промышленности разрабатывать новые инновационные продукты [1].

В настоящее время замороженные полуфабрикаты пользуются особой популярностью у потребителей, так как помогают существенно сократить время, затрачиваемое на приготовление пищи.

В хранящейся продукции, даже при благоприятных условиях, протекают процессы, изменяющие её качество и не всегда в лучшую сторону. Устойчивость продукта при хранении и переработке зависит от целого ряда факторов: физического состояния хранящейся массы и её физических свойств; химического состава и процессов метаболизма, протекающих в каждой клетке; реакции растительных организмов на воздействие факторов окружающей среды [2].

В состав рецептуры входят следующие компоненты: морковь, кабачок, перец сладкий, кукурузная мука, овсяные хлопья, меланж, соль, панировочные сухари.

Для улучшения качества выпускаемого полуфабриката из растительного сырья в состав рецептуры были добавлены кукурузная мука и овсяные хлопья. Целью введения данных компонентов было не только обогащение продукта, но и придание структурообразующей функции овощной смеси. Так как при измельчении овощей выделяется сок, содержащий ценные растворенные вещества, а выве-

дение сока из производства нецелесообразно, было принято решение использовать кукурузную муку и овсяные хлопья. Данное сырье обладает высокой гигроскопичностью, поэтому способно сохранить сок овощей. Кроме того, выбор этих компонентов обусловлен высоким содержанием в них пищевых растительных волокон.

Цель исследования – изучить микробиологические и органолептические показатели замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья в процессе хранения.

Также в ходе исследования была поставлена задача выбрать степень измельчения моркови, поэтому изготовили две партии полуфабрикатов: первая партия – в состав полуфабриката входит измельчение моркови на мелкой терке, вторая – на крупной.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись две партии полуфабрикатов из растительного сырья, изготовленные по предварительно смоделированной рецептуре и с соблюдением всех параметров технологического процесса. Замораживали полуфабрикаты воздушным способом до температуры минус 18°C.

Основой обоснования срока хранения замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья являлось проведение санитарно-микробиологических исследований и оценка органолептических свойств образцов продукции в процессе хранения.

В табл. 1 представлен график исследований замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья согласно МУК 4.2.1847-04 по срокам хранения.

Таблица 1. График исследований замороженного формованного полуфабриката из растительного сырья [3]

Table 1. Schedule of study checks of the frozen formed semi-finished product from vegetable raw materials

Сроки хранения, сут	Исследования
Фон	Санитарно-микробиологические; органолептические
15	
30	
60	
90	
120	

На рис. 1 представлен план исследований разрабатываемого продукта.

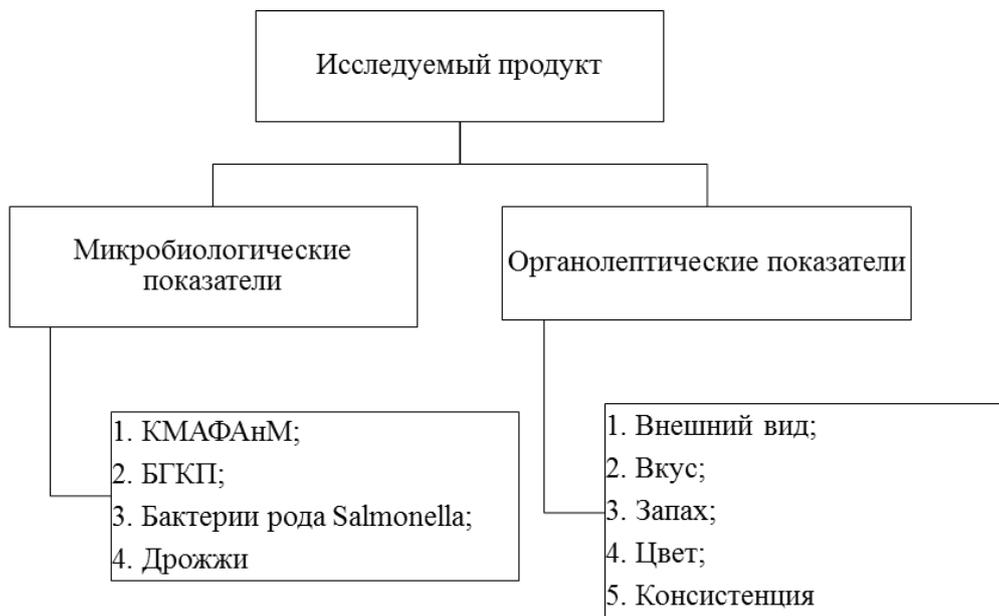


Рис. 1. План исследований разрабатываемого продукта
Fig. 1. Research plan of the developed product

В условиях лаборатории кафедры ихтиопатологии и гидробиологии КГТУ были проведены санитарно-микробиологические исследования по следующим методикам: количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяются по ГОСТ 10444.15-94 [4]; бактерии группы кишечных палочек (колиформы) – по ГОСТ 31747-2012 [5]; дрожжи – по ГОСТ 10444.12-2013 [6]; бактерии рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012 [7]; дрожжи – по ГОСТ 10444.12-2013 [8].

В лаборатории на кафедре технологии продуктов питания КГТУ была осуществлена органолептическая оценка качества разрабатываемого продукта (внешний вид, вкус, запах, цвет, консистенция). Для этого разработали специальную шкалу с учетом коэффициентов значимости и дегустационный лист.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты санитарно-микробиологических исследований быстрозамороженных овощных котлет на начальном этапе и на 15, 30, 60, 90, 120-е сутки хранения представлены в табл. 2.

Показатель КМАФАнМ в исследуемых овощных котлетах не изменялся в течение всего срока хранения. БГКП, дрожжи, бактерии рода *Salmonella* не обнаружены в исследуемом продукте.

По полученным данным сделан вывод, что сроки хранения быстрозамороженных овощных котлет могут составлять 120 сут, при дальнейшем исследовании – увеличиться.

Таблица 2. Результаты санитарно-микробиологических исследований быстрозамороженных овощных котлет на начальном этапе и на 15, 30, 60, 90, 120-е сутки хранения в зависимости от степени измельчения моркови
 Table 2. Results of sanitary and microbiological researches of the fast-frozen vegetable cutlets at the initial stage and for 15, 30, 60, 90, 120 days of storage depending on the degree of carrot grinding

Сроки хранения, сут	Продукт	Показатели								
		КМАФАн, КОЕ/г, не более	БГКП, не допускаются в массе продукта, г	дрожжи, КОЕ/г, не более	патогенные, в т. ч. сальмонеллы, не допускаются в массе продукта, г					
		Допустимые уровни								
		1×10^5	0,1	10^3	25					
Фон	Проба №1	Менее 10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
	Проба №2									
15	Проба №1		-		Не обнаружены	-				
	Проба №2									
30	Проба №1		-			Не обнаружены	-			
	Проба №2									
60	Проба №1		-				Не обнаружены	-		
	Проба №2									
90	Проба №1		-					Не обнаружены	-	
	Проба №2									
120	Проба №1		-						Не обнаружены	-
	Проба №2									

Примечание. Проба № 1 – измельчение моркови на мелкой терке; проба № 2 – измельчение моркови на крупной терке.

Результаты органолептических исследований быстрозамороженных овощных котлет на начальном этапе и на 15, 30, 60, 90, 120-е сутки хранения представлены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют, что на всех этапах хранения оба образца имели высокие органолептические оценки по всем показателям.

К 120-м суткам хранения полуфабрикат лишь немного утратил свои первоначальные свойства: органолептическая оценка снизилась по показателям «вкус», «запах», «консистенция» – до 4 баллов.

На рис. 2 представлена профилограмма органолептической оценки качества овощных котлет в зависимости от степени измельчения моркови.

Таблица 3. Результаты органолептических исследований быстрозамороженных овощных котлет на начальном этапе и на 15, 30, 60, 90, 120-е сутки хранения в зависимости от степени измельчения моркови

Table 3. Results of organoleptic researches of the fast-frozen vegetable cutlets at the initial stage and for 15, 30, 60, 90, 120 days of storage depending on the degree of carrot grinding

Сроки хранения, сут	Наименование показателя				
	внешний вид	вкус	запах	цвет	консистенция
	Характеристика				
Фон 15 30 60 90	Поверхность равномерно запанирована, без разорванных и ломаных краев и трещин, овально-приплюснутой формы (5 баллов)	Вкус – приятный, типичный для овощей, входящих в состав (кабачок, морковь, сладкий перец). Посторонний привкус отсутствует (5 баллов)	Запах моркови, кабачка и перца ярко выражен. Посторонний запах отсутствует (5 баллов)	Цвет на разрезе – слегка оранжевый и соответствует окраске перца сладкого, моркови, кабачка (5 баллов)	Сочная, мягкая (5 баллов)
120	Поверхность равномерно запанированная, без разорванных и ломаных краев и трещин, овально-приплюснутой формы (5 баллов)	Вкус – не ярко выражен, типичный для соответствующих видов овощей, входящих в состав (кабачок, морковь, сладкий перец). Посторонний привкус отсутствует (4 балла)	Запах моркови, кабачка и перца слабо выражен. Посторонний запах отсутствует (4 балла)	Цвет на разрезе – слегка оранжевый и соответствует окраске перца сладкого, моркови, кабачка (5 баллов)	Сочная, достаточно мягкая (4 балла)

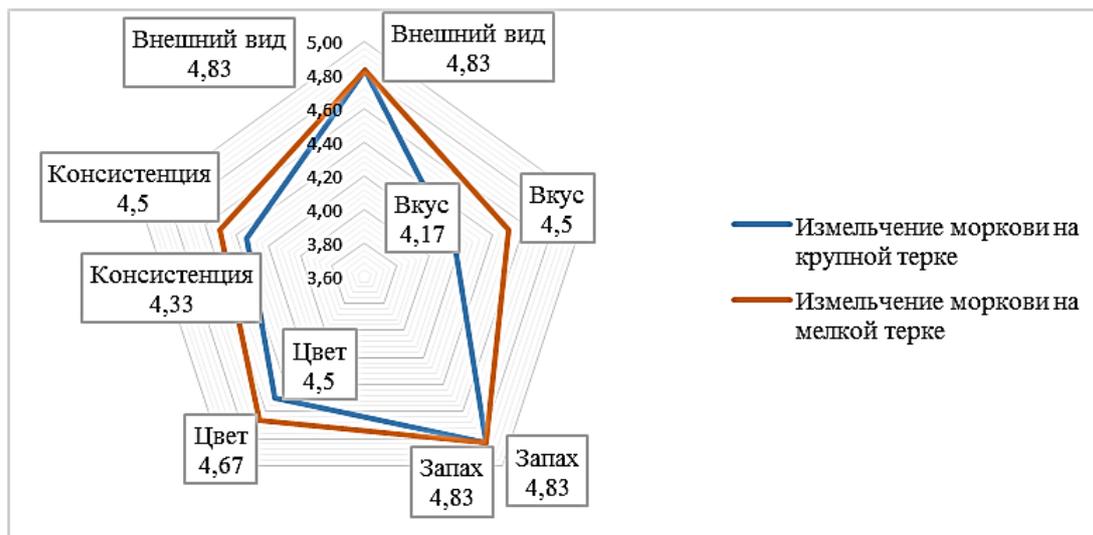


Рис. 2. Профилограмма органолептической оценки качества овощных котлет в зависимости от степени измельчения моркови

Fig. 2. Profile chart of the organoleptic assessment of the quality of vegetable cutlets depending on the degree of carrot grinding

Из приведенных данных видно, что оба образца соответствуют органолептическим показателям – полуфабрикаты хорошего качества, однако образец с измельчением моркови на мелкой терке показал себя лучше, чем образец с измельчением моркови на крупной. Образец с измельчением моркови на мелкой терке больше приближен к эталону по консистенции на 3,4, по цвету на 3,4 и по вкусу на 6,6 %, чем образец с измельчением моркови на крупной терке.

ВЫВОДЫ

Проведено санитарно-микробиологическое исследование быстрозамороженных овощных котлет в процессе 120-дневного хранения. Определены следующие санитарно-микробиологические показатели в быстрозамороженных овощных котлетах: КМАФАнМ; БГКП; дрожжи; бактерии рода *Salmonella*.

Показатель КМАФАнМ в исследуемых овощных котлетах не изменялся в течение всего срока хранения. БГКП, дрожжи, бактерии рода *Salmonella* не обнаружены в исследуемом продукте.

Проведена органолептическая оценка качества овощных котлет в процессе хранения. К 120-м суткам хранения полуфабрикат лишь немного утратил свои первоначальные свойства: органолептическая оценка снизилась по показателям «вкус», «запах», «консистенция» – до 4 баллов. По результатам органолептического анализа образец с измельчением моркови на мелкой терке показал себя лучше, чем образец с измельчением моркови на крупной.

По полученным данным, сделан вывод, что рекомендуемый срок хранения быстрозамороженных овощных котлет составляет 90 сут. Дальнейшее хранение ведет к незначительному снижению органолептических показателей полуфабриката, однако санитарно-микробиологическое состояние полуфабриката остается на безопасном уровне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Anshu Singh, Arindam Kuila, Sunita Adak, Moumita Bishai and Rintu Banerjee. Use of fermentation technology on vegetable residues for value added. *International journal of food and fermentation technology*, 2011 no. 2, available at: https://www.researchgate.net/profile/Ramesh_Ray2/publication/236894436_Proximate_compositions_of_a_herbal_purple_sweet_potato_Ipomoea_batatas_L_wine/links/0c96051c28ec752fd8000000/Proximate-compositions-of-a-herbal-purple-sweet-potato-Ipomoea-batatas-L-wine.pdf (Accessed 20 May 2017)
2. Медведева, З. М. Технология хранения и переработки продукции растениеводства: учеб. пособие / З. М. Медведева, Н. Н. Шипилин, С. А. Бабарыкина. –Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2015. – 340 с.
3. МУК 4.2.1847-04. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов: метод. указания. – Москва, 2004.
4. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, 2010.
5. ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий), 2013.
6. ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002). Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*, 2014.
7. ГОСТ 10444.12-2013. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов, 2014.

REFERENCES

1. Anshu Singh, Arindam Kuila, Sunita Adak, Moumita Bishai and Rintu Banerjee. Use of fermentation technology on vegetable residues for value added. *International journal of food and fermentation technology*, 2011, no. 2, available at: https://www.researchgate.net/profile/Ramesh_Ray2/publication/236894436_Proximate_compositions_of_a_herbal_purple_sweet_potato_Ipomoea_batatas_L_wine/links/0c96051c28ec752fd8000000/Proximate-compositions-of-a-herbal-purple-sweet-potato-Ipomoea-batatas-L-wine.pdf (Accessed 20 May 2017)
2. Medvedeva Z. M., Shipilin N. N., Babarykina S. A. *Tekhnologiya khraneniya i pererabotki produktsii rastenievodstva: uchebnoe posobie* [Storage and processing technology for plant products: student's book]. Novosibirsk, ITS NGAU «Zolotoy kolos», 2015, 340 p.
3. МУК 4.2.1847-04. Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov: metodicheskie ukazaniya [Sanitary and epidemiological evaluation of justification for shelf life and storage period of food products: procedural guidelines]. Moscow, 2004.
4. GOST 10444.15-94. Produkty pishchevye. Metody opredeleniya kolichestva mezofil'nykh aerobnykh i fakul'tativno-anaerobnykh mikroorganizmov [Foodstuff.

Methods for determination of the amount of mesophile aerobic and optionally anaerobic microorganisms]. 2010.

5. GOST 31747-2012. Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva bakteriy gruppy kishchnykh palochek (koliformnykh bakteriy) [Foodstuff. Methods for detection and determination the number of coliform bacteria]. 2013.

6. GOST 31659-2012 (ISO 6579:2002). Produkty pishchevye. Metod vyyavleniya bakteriy roda Salmonella [Foodstuff. Methods for detection Salmonella bacteria]. 2014.

7. GOST 10444.12-2013. Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Metody vyyavleniya i podscheta kolichestva drozhzhey i plesnyvykh gribov [Microbiology of food products and animal feeds. Methods for detection and calculation of the amount of yeast and mold]. 2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гаурильчикайте Вероника Витаутовна – Калининградский государственный технический университет; магистрант; E-mail: veronika.kgd@yandex.ru

Gaurilchikayte Veronika Vitautovna – Kaliningrad State Technical University; Master's degree student; E-mail: veronika.kgd@yandex.ru

Анохина Ольга Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; зам. декана по учебной работе механико-технологического факультета; E-mail: olga.anohina@klgtu.ru

Anokhina Olga Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering sciences, Associate Professor; Deputy dean for academic affairs of the faculty of mechanics and technology; E-mail: olga.anohina@klgtu.ru

УДК 664.9.022

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРОЖЕНОЙ САРДИНЫ
ТИХООКЕАНСКОЙ КАК СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ СОЛЕНОЙ ПРОДУКЦИИ

С. Н. Максимова, Т. Н. Слуцкая, Д. В. Полещук, С. Ю. Пономаренко

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FROZEN PACIFIC SARDINE
OF AS A RAW MATERIAL IN THE TECHNOLOGY OF SALTED PRODUCTS

S. N. Maksimova, T. N. Slutskaaya, D. V. Poleschuk, S. Ju. Ponomarenko

Производство рыбных пресервов в настоящее время развивается в направлении использования как рыбного сырья, имеющего низкую способность к созреванию (карап, толстолобик и др.), так и традиционных объектов морского и океанического промысла для производства пресервов (лососевые, сельдевые), обладающих высокой способностью к созреванию.

Расширить ассортимент и обогатить рынок пресервов можно за счет видового состава сырья, например, возобновляемых промысловых объектов. Одним из них является сардина тихоокеанская (иваси). По расчетам дальневосточных ученых ее запасы будут увеличиваться, и к 2020 г. в Японском море они могут достичь более 1 млн. т, а в тихоокеанских водах – 3.1 млн. т. Такая обстановка ставит перед рыбной отраслью Дальнего Востока задачу обеспечения выпуска высококачественной пищевой продукции из данного сырья.

Решение этой задачи сопряжено с трудностями, обусловленными условиями добычи сардины и ее технологическими особенностями.

В статье представлена технологическая характеристика сардины тихоокеанской «нового подхода». Исследованы ее размерно-массовая и химическая характеристики, которые в дальнейшем определяют использование сырья при производстве пищевой продукции. Экспериментально установлены органолептические, физико-химические показатели сардины мороженой, которая поступает на береговые рыбоперерабатывающие предприятия.

На основании полученных данных сделан вывод о том, что в течение срока хранения у сардины нет серьезных изменений, что подтверждает ранее сделанные заключения о перспективности применения данного вида сырья в мороженом виде для изготовления различной пищевой продукции, в том числе пресервной.

сардина тихоокеанская, технология, сырье, посол, химический состав, активность протеаз

Fish preserves are one of the preferred assortments for the production of products with a low salt content.

Production of fish preserves is currently developing both in the direction of the use of fish raw materials with a low capacity for maturation (carp, silver carp, etc.), as well as traditional objects of marine and oceanic fishery, traditionally used for preserves production (salmon, herring) and possessing high capacity for maturation.

It is possible to expand the assortment and enrich the market of preserves at the expense of the species composition of raw materials, for example, renewable commercial objects. This object is the Pacific sardine (Ivasi). According to the calculations of Far Eastern scientists, the stocks of the Pacific sardines will increase and by 2020 in the Sea of Japan they can reach more than 1 million tons, and in the Pacific waters - 3.1 million tons. This situation sets a task of ensuring production of high-quality food products from this raw material.

The solution of this problem involves difficulties due to the conditions of sardine catch and its technological features.

The article presents a new approach to technological characteristics of the Pacific sardine. Size, mass and chemical characteristics of the Pacific sardine have been analyzed, which further determines the use of raw materials in manufacturing of food products. Organoleptic, physicochemical indicators of frozen sardines, which come to coastal fish processing enterprises have been experimentally established.

Based on the obtained data, it has been concluded that during the storage period, sardine does not undergo serious changes, which confirms earlier conclusions about the prospects of using this type of raw material in a frozen form for manufacturing of various food products, including preserves.

pacific sardine, technology, raw materials, salting, chemical composition, protease activity

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Концепции развития рыбного хозяйства России до 2020 г. и Федеральному закону «О качестве и безопасности продуктов питания» в ближайшее время предстоит решить ряд задач, которые позволят не только сохранить и рационально использовать водные биоресурсы, но и обеспечить высокое качество, безопасность и конкурентоспособность выпускаемой рыбной продукции. В этот период развития пищевой промышленности ее основной целью станет формирование эффективных и устойчивых производств продуктов питания и обеспечение продовольственной безопасности страны. Большую роль в решении поставленных задач будет играть состояние рынка и рыбной промышленности, так как водные биоресурсы – это ценный источник белка, витаминов, липидов, макро- и микроэлементов, которые являются не только жизненно важными, но и легкоусвояемыми для организма веществами [1].

Сардина тихоокеанская, вылов которой в настоящее время возобновляется, является одним из важных объектов промысла.

Ее начали добывать еще в прошлом столетии в начале 20-х гг. – это была первая «вспышка» ее запасов и появление рыбы у отечественных берегов. Общий период промысла составил 21 год. Вторая «вспышка» запасов сардины-иваси произошла в начале 70-х гг. с тем же периодом длительности [2].

В последующие 25 лет лов сардины вели только японские рыбаки, при этом в последние годы вылов стабильно увеличивался примерно на 25–30 % ежегодно. К 2014 г. он достиг около 200 тыс. т в тихоокеанских водах и порядка 100 тыс. т в Японском море. Тенденция роста продолжается и в настоящее время. Все это – следствие роста запасов, который в тихоокеанских водах за семь последних лет увеличился со 100 тыс. до почти 1 млн. т. В Японском море прирост более интенсивный – от 10 до почти 300 тыс. т за восемь лет.

При промысле сайры возрос прилов сардины на Южных Курилах, ее косяки периодически подходят к берегам Приморья и Западного Сахалина.

Съемки ТИПРО показывают увеличение запасов сардины в тихоокеанских водах. Так, в 2014 г. учтенная биомасса составила порядка 300 тыс. т, в 2015 г. – 700 тыс. т, заняв третье место по учтенным запасам после скумбрии и тихоокеанского кальмара. При этом распределение скоплений и размерный состав уже делали вполне реальным промысел этого вида – около 40 % длиной более 18 см, а улов на траление достигал 3 т [3].

Ученые считают, что в ближайшее время запасы сардины будут только расти. К 2020 г. в тихоокеанских водах они могут достичь около 3,1 млн. т, а в Японском море – более 1 млн. т. При этом вылов в первом районе можно было бы рекомендовать на уровне 700–800, во втором – 200-300 тыс. т [2].

Постоянно увеличивающийся вылов сардины тихоокеанской ставит задачу перед рыбной отраслью – обеспечить выпуск из этого объекта высококачественной пищевой продукции с повышенными товарными свойствами.

Наиболее предпочтительным (с учетом химического состава и биохимических особенностей) и целесообразным является производство из сардины тихоокеанской соленой продукции, в том числе пресервов [4].

Однако при возобновлении промысла из-за ограниченного количества обрабатывающих судов, способных выпускать пресервы в морских условиях, переработка рыбы будет вестись из мороженого сырья на береговых предприятиях не только Дальнего Востока, но и центральной России.

Целью настоящей работы является технологическая характеристика мороженой сардины тихоокеанской (иваси) как сырья в технологии соленой продукции.

Исследования проводили в лабораториях Института пищевых производств ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

В качестве объекта исследования использовали мороженую сардину тихоокеанскую, добытую в территориальных водах п-ова Камчатка в период июль – август 2016 г. и соответствующую ТУ 9261-368-00472012-2015 «Сардина тихоокеанская (иваси). Технические условия».

Для характеристики сардины тихоокеанской мороженой определяли органолептические и физико-химические показатели.

Отбор проб сырья и подготовку проб к анализу проводили по стандартным методикам (ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-2008).

Определение общего химического состава (содержание белков, липидов, воды, минеральных веществ) осуществляли по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Органолептическую оценку качества определяли по ГОСТ 7631-2008, в соответствии с терминологией описания признаков, получившей наибольшее распространение в практике и по результатам дегустационных совещаний.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На первом этапе необходимо было провести исследования сардины тихоокеанской – сырца. В результате работы были определены размерно-массовая характеристика сардины тихоокеанской, которая в дальнейшем определяет

использование сырца при производстве пищевой продукции. В табл. 1 представлена зависимость массы сардины тихоокеанской от размера.

Таблица 1. Масса и длина сардины тихоокеанской
Table 1. Mass and length of the Pacific sardine

Размер рыбы, мм	Масса рыбы, г
160	60
170	63
180	78
190	84
200	104
210	135
220	168
230	197
240	210

При производстве любой пищевой продукции, в том числе и пресервов, важным моментом, кроме качества и безопасности, является её выход. Исследования размерно-массового состава показали, что выход тушки варьировал от 54,4 до 63,8 %. Отмечено, что выход разделанной сардины тихоокеанской на тушку мало зависит от размера и массы рыбы. Процентное соотношение основных структурных элементов сардины тихоокеанской представлены на рис. 1.

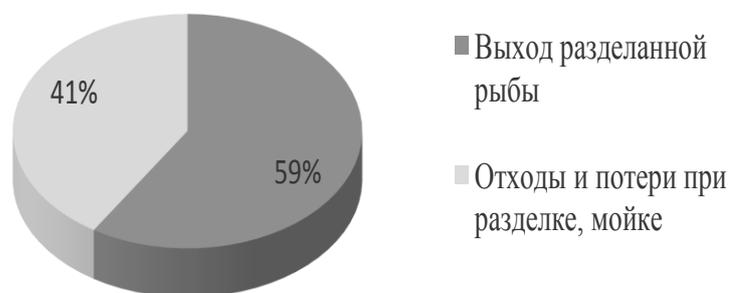


Рис. 1. Среднее соотношение структурных элементов сардины тихоокеанской
Fig. 1. Average ratio of the Pacific sardine structural elements

Исследования общего химического состава показали, что в образцах неразделанной сардины тихоокеанской длиной от 16 до 24 см содержание жира изменялось от 12,3 до 30,2 %, белок варьировал от 15,5 до 20,0 %, влага – от 53,9 до 66,4 %.

Средние значения общего химического состава сардины тихоокеанской показаны на диаграмме (рис. 2).

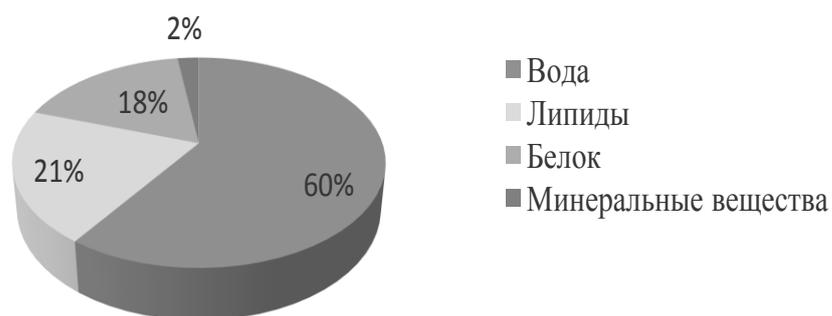


Рис. 2. Средние значения общего химического состава сардины тихоокеанской, %
 Fig. 2. Mean values of the total chemical composition of the Pacific sardine

На основании исследований размерно-массового и химического составов сардины тихоокеанской можно сделать вывод о том, что полученные результаты не противоречат исследованиям профессора И.В. Кизеветтера, проведенным в прошлом веке. Сардина тихоокеанская, выловленная в 2016 г., по своим характеристикам не отличается от сардины, выловленной в предыдущие ее подходы.

В настоящее время есть ряд нормативных документов, в соответствии с требованиями которых выпускают сардину тихоокеанскую мороженую. К таким документам относится ГОСТ 32366-2013 «Рыба мороженая. Технические условия»: срок хранения иваси в неразделанном глазированной виде составляет 1 мес., а в неразделанном глазированном и упакованном в пленочные мешки-вкладыши – 2 мес., при температуре не выше минус 18⁰ С; ТУ 9261-368-00472012-2015 «Сардина тихоокеанская (иваси). Технические условия» – 7 мес. при температуре не выше минус 18⁰ С.

По органолептическим и физическим показателям мороженая сардина тихоокеанская соответствует требованиям, указанным в табл. 2.

Таблица 2. Органолептические и физические показатели мороженой сардины тихоокеанской

Table 2. Organoleptic and physical parameters of frozen Pacific sardine

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид мороженых блоков	Целые, плотные; поверхность чистая, ровная
Наружные повреждения	Рыба без наружных повреждений
Консистенция	Плотная, свойственна данному виду рыбы
Запах после размораживания	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
Наличие посторонних примесей	Не допускается

Нами были проведены исследования изменений органолептических показателей сардины тихоокеанской в течение срока ее нормативного хранения (табл. 3).

Таблица 3. Органолептические показатели мороженой сардины тихоокеанской в течение семи месяцев хранения

Table 3. Organoleptic indicators of frozen Pacific sardine during 7 months of storage

Месяц хранения	Наименование показателя			
	Внешний вид мороженых блоков	Наружные повреждения	Консистенция	Запах после размораживания
1	Целые, плотные; поверхность чистая, ровная	Рыба без наружных повреждений	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
2	Целые, плотные; поверхность чистая, ровная	Рыба без наружных повреждений	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
3	Целые, плотные; поверхность чистая, ровная	Незначительное повреждение брюшка	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
4	Целые, плотные; поверхность чистая, ровная	Незначительное повреждение брюшка	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
5	Целые, плотные; незначительные впадины на поверхности блоков	Незначительное повреждение брюшка	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
6	Целые, плотные; незначительные впадины на поверхности блоков	Незначительное повреждение брюшка, но без повреждений мяса	Плотная, свойственная данному виду рыбы	Свойственный свежей рыбе, без посторонних запахов
7	Целые, плотные; незначительные впадины на поверхности блоков	Незначительное повреждение брюшка, но без повреждений мяса	Плотная, ослабевшая, свойственная данному виду рыбы	Незначительный запах окислившегося жира на поверхности, не проникший в толщу мяса остальных рыб

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что сардина тихоокеанская в течение всего срока хранения может быть использована для производства пищевой продукции, в том числе пресервов.

По истечении шести месяцев сардину тихоокеанскую размораживали и проводили исследования химического состава (табл. 4).

Таблица 4. Общий химический состав сардины тихоокеанской после размораживания, %

Table 4. Total chemical composition of the Pacific sardine after thawing, %

Вода	Липиды	Белок	Минеральные вещества
55	22,5	19,5	2,5

Химический состав сардины тихоокеанской в конце срока хранения не претерпевает серьезных изменений, что подтверждает ранее сделанные выводы о перспективности применения данного вида сырья в мороженом виде для изготовления пресервов.

Сравнительная характеристика активности протеаз мышечной ткани различных видов рыб приведена в табл. 5.

Таблица 5. Активность протеаз мышечной ткани рыб, ед.

Table 5. Protease activity of fish muscle tissue, un

Объект	Активность протеаз, ед (при pH 6,0)
Иваси, размер 16 см	5,3±0,8
Иваси размер более 16 см (18-20)	4,4±0,3
Сельдь тихоокеанская нерестовая	2,0±0,3
Горбуша	1,8±0,2
Камбала	0,9±0,1

Как показывают результаты табл. 5, иваси характеризуется наиболее высокой активностью протеаз мышечной ткани по сравнению с другими промысловыми рыбами, что является причиной ее быстрого перезревания при посоле и ухудшения качественных показателей продукции. Сравнение полученных данных с ранее известными [5, 6] показывает, что активность протеаз мышечной ткани сардины тихоокеанской (иваси) размером 16-20 см находится в таких же пределах, но отмечена тенденция к незначительному уменьшению этого показателя в течение хранения.

ВЫВОДЫ

Осуществлена экспериментальная работа по исследованию технологической характеристики сардины тихоокеанской (иваси) сырца и мороженой. Сравнительные характеристики установленных органолептических показателей, массового и химического составов подтверждают высокую пищевую ценность данного сырья и его пригодность для производства соленой продукции – пресервов. Установлена более высокая активность протеолитических ферментов мышечной ткани по сравнению с другими промысловыми рыбами.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности разработки технологии посола сардины тихоокеанской из мороженого сырья с использованием природных ингибиторов и барьерных средств, позволяющих сохранить привлекательные потребительские свойства готовой продукции с пониженным содержанием соли в течение хранения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 02.09.2003 г. № 1265-р / Правительство РФ. – Москва, 2003. – 18 с.
2. Сардина (иваси) и скумбрия на горизонте / А. П. Ярочкин. [и др.]. // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 78-82.
3. Барышко, М. Е. Промысел скумбрии и сардины-иваси на Дальнем Востоке / М. Е. Барышко // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8. – С. 229-230.
4. Антипова, Л. В. Возможность использования рыбного сырья в продуктах для функционального питания / Л. В. Антипова, Д. В. Паничкин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – №1. – С. 25-27.
5. Слуцкая, Т. Н. Химический состав и активность протеолитических ферментов мелкой сардины-иваси в зимних и весенних уловах / Т. Н. Слуцкая, Н. И. Миленина, С. Н. Бондарь // Рыбное хозяйство. – 1985. – № 10. – С. 56-58.
6. Simson B.K., Haard H.F. Trypsin from Greenland cod (*Gadus ogac*). Isolation and comparative properties. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 79, p. 613-622.

REFERENCES

1. Konceptcija razvitija rybnogo hozjajstva Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 02.09.2003 g. № 1265-r. Pravitel'stvo Ros. Federacii. Moscow, 2003, 18 p.
2. Jarochkin A. P., Akulin V. N., Jakush E. V., Dudarev V. A., Kruchinin O. N., Kupina N. M. Sardina (ivasi) i skumbrija na gorizonte [Sardine (Ivasi) and mackerel on the horizon]. *Rybnoe hozjajstvo*, 2015, no. 6, pp. 78-82.
3. Baryshko M. E. Promysel skumbrii i sardiny-ivasi na Dal'nem Vostoke [Fishing for mackerel and sardine-ivasi in the Far East]. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija*, 2015, no. 8, pp. 229-230.
4. Antipova L. V., Panichkin D. V. Vozmozhnost' ispol'zovanija rybnogo syr'ja v produktah dlja funkcional'nogo pitaniija [Possibility of using fish raw materials in products for functional nutrition]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja Tehnologija*, 2009, no. 1, pp. 25-27.
5. Sluckaja T. N., Milenina N. I., Bondar' S. N. Himicheskiy sostav i aktivnost' proteoliticheskih fermentov melkoj sardiny ivasi v zimnih i vesennih ulovah [Chemical composition and activity of proteolytic enzymes of shallow sardine in winter and spring catches]. *Rybnoe hozjajstvo*, 1985, no. 10, pp. 56-58.
6. Simson B.K., Haard H.F. Trypsin from Greenland cod (*Gadus ogac*). Isolation and comparative properties. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 79, pp. 613-622.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Максимова Светлана Николаевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Технология продуктов питания»; E-mail: maxsvet28@mail.ru

Maksimova Svetlana Nikolaevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); Doctor of Engineering, associate professor; head of the department of food products technology; E-mail: maxsvet28@mail.ru

Слуцкая Татьяна Ноевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания»;

Slutskaya Tatiana Noevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); Doctor of Engineering, professor of the department of food products technology;

Полещук Денис Владимирович – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: tym1988@mail.ru

Poleschuk Denis Vladimirovich – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); PhD of Engineering, Associate professor of the department of food products technology; E-mail: tym1988@mail.ru

Пономаренко Светлана Юрьевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); аспирант кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: svetulie555@mail.ru

Ponomarenko Svetlana Yuryevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); postgraduate student of the department of food products technology; E-mail: svetulie555@mail.ru

УДК 663.053

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОЛИЗА ПАНЦИРНЫХ ОТХОДОВ
ВАРЕНОЙ КРЕВЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОСУБТИЛИНА

М. В. Самсонов, М. Л. Винокур, М. П. Андреев

STUDY OF THE HYDROLYSIS PROCESS OF CRUSTACEAN WASTE
OF BOILED SHRIMPS USING PROTOSUBTILIN

M. V. Samsonov, M. L. Vinokur, M. P. Andreev

Протеолиз панцирьсодержащих отходов (ПСО) ракообразных представляет собой сложный гетерогенный процесс, связанный с неоднородным распределением белка в структуре клеточной и бесклеточной эпителиальной ткани. В статье представлены исследования по переходу в гидролизат продуктов протеолиза ПСО северной розовой креветки *Pandalus borealis*. Белковые азотсодержащие вещества переходили в гидролизат как в растворенном, так и суспензированном виде. Гидролиз проводили с использованием относительно недорогого ферментного препарата микробиологического происхождения протосубтилина нейтрального.

Изучался также протеолиз панцирных отходов с предварительно удаленным эпителиальным клеточным слоем. Процесс протеолиза продолжался четыре часа при постоянной температуре 37 °С без доступа освещения. У ПСО с предварительно удаленным клеточным эпителием наблюдалось заметное снижение выхода извлекаемых белоксодержащих компонентов в сравнении с отходами, содержащими указанный слой. С использованием метода визуального оптического наблюдения подтвержден переход в гидролизат значительного количества эпителиальной клеточной ткани в суспензированном виде. Измельчение в большей степени повлияло на изменение интенсивности протеолиза ПСО, в состав которых входит эпителиальный клеточный слой. После 3,5 часов ферментативного гидролиза как измельченных, так и неизмельченных ПСО с предварительно удаленным эпителиальным клеточным слоем наблюдалось резкое увеличение интенсивности перехода азотсодержащих белковых веществ (белки, пептиды, аминокислоты) в бульон. С течением времени наблюдались самопроизвольная интенсификация и процесс депротеинизации верхних слоев кутикулы, в результате диффузионного накопления в них достаточного количества ферментного препарата - протосубтилина ГЗх.

ферментативный гидролиз, протеин, протосубтилин, азот, динамика, расщепление

Proteolysis of crustacean waste (CRP) of shellfish is a complex heterogeneous process associated with a nonuniform protein distribution in the structure of cellular and acellular epithelial tissue. The article presents studies on the transition to the

hydrolyzate of proteolysis products of crustacean waste of the North pink shrimp *Pandalus borealis*. Protein nitrogen-bearing substances passed into the hydrolyzate in both dissolved and suspended form. The hydrolysis was conducted using a relatively inexpensive enzyme preparation of microbiological origin, neutral protosubtilin.

We were also studying proteolysis of crustacean waste with a previously removed epithelial cell layer. The proteolysis process lasted 4 hours, at a constant temperature of 37 ° C without access to lighting. The crustacean waste with pre-removed cell epithelium showed a noticeable decrease in the yield of extracted protein-containing components in comparison with the wastes containing this layer. Using the method of visual optical observation, a significant amount of epithelial cell tissue was transferred to the hydrolyzate in a suspended form. Grinding to a greater extent affected the change in the intensity of proteolysis of the crustacean waste, which includes the epithelial cell layer. After 3.5 hours of enzymatic hydrolysis of both ground and unground crustacean waste, with a previously removed epithelial cell layer, a sharp increase in the intensity of the transition of nitrogen-containing protein substances (proteins, peptides, amino acids) to the broth was observed. With the course of time, spontaneous intensification and the process of deproteinization of the upper layers of the cuticle were observed, as a result of the diffusion accumulation in them of a sufficient quantity of the enzyme preparation - protosubtilin G3H.

enzymatic hydrolysis, protein, protosubtilin, nitrogen, dynamics, splitting

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день рядом авторов разработаны ферментативные способы выделения из панцирных отходов ракообразных белковых продуктов, характеризующихся различной степенью обезжиривания, в частности каротинопротеинов. «Каротинопротеин» используется как общеродовое понятие для группы достаточно обезжиренной пищевой и кормовой белковой продукции с высоким содержанием каротиноидов [1, 2].

Интенсивность депротеинизации и соизвлечения каротиноидов значительным образом зависит от степени доступности белкового субстрата для действия протеолитических ферментов. Степень доступности белка связана с характером его распределения в структуре обрабатываемого материала, а также величины удельной поверхности последнего и может изменяться на протяжении всего процесса ферментализации [3, 4]. С учетом имеющихся представлений о неоднородности распределения белков и каротиноидов в структуре панцирей ракообразных, а также наличия так называемых «норовых каналов», способных облегчать диффузию фермента в ПСО, может быть сделано предположение об изменяющемся с течением времени характере протеолиза [4, 5]. Одним из способов интенсификации протеолиза является механическая обработка ПСО, при которой происходит не только изменение удельной поверхности обрабатываемого материала, но и полное или частичное разрушение связи клеточного слоя с эндокутикулой [6]. Так, в работе ряда авторов показано положительное влияние степени измельчения на интенсивность и степень депротеинизации ПСО [7].

Одним из направлений совершенствования технологии извлечения белков из ПСО является поиск возможности использования для этих целей достаточно недорогих мультикомпонентных ферментных препаратов микробиологического

происхождения [10, 11]. Ранее было приведено сравнение выхода и состава каротинопротеина, получаемого из ПСО при использовании ферментов животного происхождения, с мультикомпонентным ферментным препаратом протосубтилин ГЗх, выделяемым культурами *Bac. subtilis*, в состав которого входит комплекс ферментов (щелочные протеиназы, альфа-амилаза, бета-глюканаза, ксиланаза и целлюлаза) [12]. В работе Немцева был предложен процесс получения белковой пасты (с содержанием жира более 4 %) из панцирей ракообразных с использованием протосубтилина ГЗх.

Целью работы было установление возможных различий в динамике гидролиза ПСО целых и измельченных, с предварительным удалением клеточного эпителиального слоя и без, на примере использования протосубтилина ГЗх.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований использовались варено-мороженые панцирные отходы северной креветки, с частично удаленным эпителиальным слоем и дефростированные на воздухе (белково-минеральный субстрат). Химический состав ПСО - белок 11,2 %, липиды 5,5 (в том числе 0,98 % каротиноидов), минеральные вещества 5,2, влага – 74, хитин – 4,2 %.

Для проведения протеолиза использовался ферментативный препарат микробиологического происхождения - протосубтилин ГЗх, фирмы «СибБиоФарм», представлявший гигроскопичный однородный порошок светлого бежевого цвета, растворимый в воде, с протеолитической активностью 70 ед./г.

Удаление клеточного слоя осуществлялось механическим способом. Измельчение ПСО производилось в куттере Рimak 5 lt. Суспензирование проводилось при температуре 21⁰С не более 5 мин.

Процесс протеолиза продолжался четыре часа, при температуре 37 °С в термостате, концентрация фермента составила 0,05 % от массы сырья.

Массовая доля влаги определялась по ГОСТ 13496.3-92 (ИСО 6496-83), сущность метода заключается в высушивании до постоянной массы при температуре 100-105⁰С в течение не менее трех часов.

Для определения динамики перехода азотсодержащих веществ в бульон использовался ГОСТ Р 54607.7-2016. Отбор и подготовка проб осуществлялись по ГОСТ 26313 и ГОСТ 26671.

Определение массовой доли хитина производилось посредством последовательного выдерживания ПСО в концентрированных растворах кислоты, щелочи, с дальнейшей промывкой, сушкой и расчетом массовой доли осадка.

Степень конверсии белка в субстрат определялась по формуле (1):

$$\alpha = C_t / C_0, \quad (1)$$

где C_t – концентрация азота содержащих веществ при протеолизе за время t ; C_0 – максимальная концентрация азотсодержащих веществ.

Для анализа полученных данных кинетических кривых было использовано топохимическое уравнение Аврами-Колмогорова-Ерофеева (2):

$$\ln(1-\alpha) = -Ktn, \quad (2)$$

где α – степень конверсии; K – коэффициент, зависящий от скорости; t – время протеолиза; n – кинетический параметр.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первый этап гидролиза образцов панцирных отходов, содержащих клеточный слой, независимо от того, использовалось ли предварительное измельчение или нет, соответствовал 3-3,5 ч и характеризовался интенсивным накоплением общего азота. Известно, что общий азот способен переходить в гидролизаты как в растворенном, так и в суспензированном виде. Сравнительная оптическая оценка образцов с различным характером обработки позволила косвенно зафиксировать поэтапный переход продуктов ферментативного гидролиза (липиды, каротиноиды, азотсодержащие вещества с различной молекулярной массой) в бульон. На протяжении почти всей первой фазы гидролиза в обоих случаях наблюдалось помутнение бульона, что подтверждает значительный переход белка в суспензированном виде. Также к концу начальной фазы наблюдалось изменение цвета, свидетельствующее о накоплении значительного количества каротиноидов.

В свою очередь, значительный переход белка в суспензированном виде, скорее всего, обусловлен отщеплением небольших кусочков эпителия от поверхности его бесклеточной части (табл. 1).

Таблица 1. Внешний вид профильтрованного гидролизата в зависимости от механической обработки при ферментативном гидролизе
Table 1. Dependence of outer appearance of the filtered hydrolyzate on mechanical processing under enzymatic hydrolysis

Наименование образцов	Время гидролиза, ч			
	1	2	3	4
ПСО неизмельченные с клеточным слоем (ПСО _{ни})	Помутнение бульона с желтоватым оттенком	Увеличение мутности, преобладание желтого оттенка	Увеличение мутности бульона, появление оранжевого оттенка	Преобладание оранжевого оттенка
ПСО неизмельченные без клеточного слоя (ПСО _{БКСи})	Незначительное помутнение бульона	Незначительное увеличение мутности	Появление желтоватого оттенка	Преобладание желтого оттенка
ПСО измельченные с клеточным слоем (ПСО _и)	Значительное помутнение бульона с желтоватым оттенком	Увеличение мутности, преобладание желтого-оранжевого оттенка	Преобладание оранжевого оттенка	Бульон полностью стал оранжевым
ПСО измельченные без клеточного слоя (ПСО _{БКСи})	Незначительное помутнение бульона	Увеличение мутности бульона, появление желтоватого оттенка	Преобладание желтого оттенка	Изменений не наблюдается

Для образцов с удаленным эпителиальным клеточным слоем, независимо от использования предварительного измельчения, незаметна разница в характере перехода азотсодержащих веществ (АВ) в бульон в течение первых 3,5 ч (рис. 1). Таким образом, можно предположить, что влияние измельчения на степень и скорость депротеинизации ПСО_{БКСи} на начальном этапе связано, скорее

всего, с ослаблением связи указанного слоя с поверхностью панциря за счет трения о рабочий орган измельчителя. Изменение площади удельной поверхности бесклеточной основы панциря, по всей видимости, не должно оказывать влияние на динамику депротеинизации.

После 3,5 ч для обоих случаев незначительно ускоряется процесс депротеинизации, что свидетельствует о возможном проникновении протеолитических ферментов через норовые каналы к белоксодержащим слоям экзокутикулы. То есть в течение первых 3,5 ч ферментализ ПСО мог носить диффузионный характер, а после – кинетический или диффузионно-кинетический. Симпсон и Хард показана эффективность многократной обработки ПСО ферментами микробиологического и животного происхождения с целью повышения выхода каротинопротеина [7, 8]. Одна из возможных причин наблюдаемого явления может быть связана с уменьшением вязкости гидролизуемой массы и, как следствие, лучшей диффузией ферментов через «норовые каналы» панциря. Немцевым также отмечалась возможность рессорбции белков компонентом из гидролизата обратно в панцирь [9].

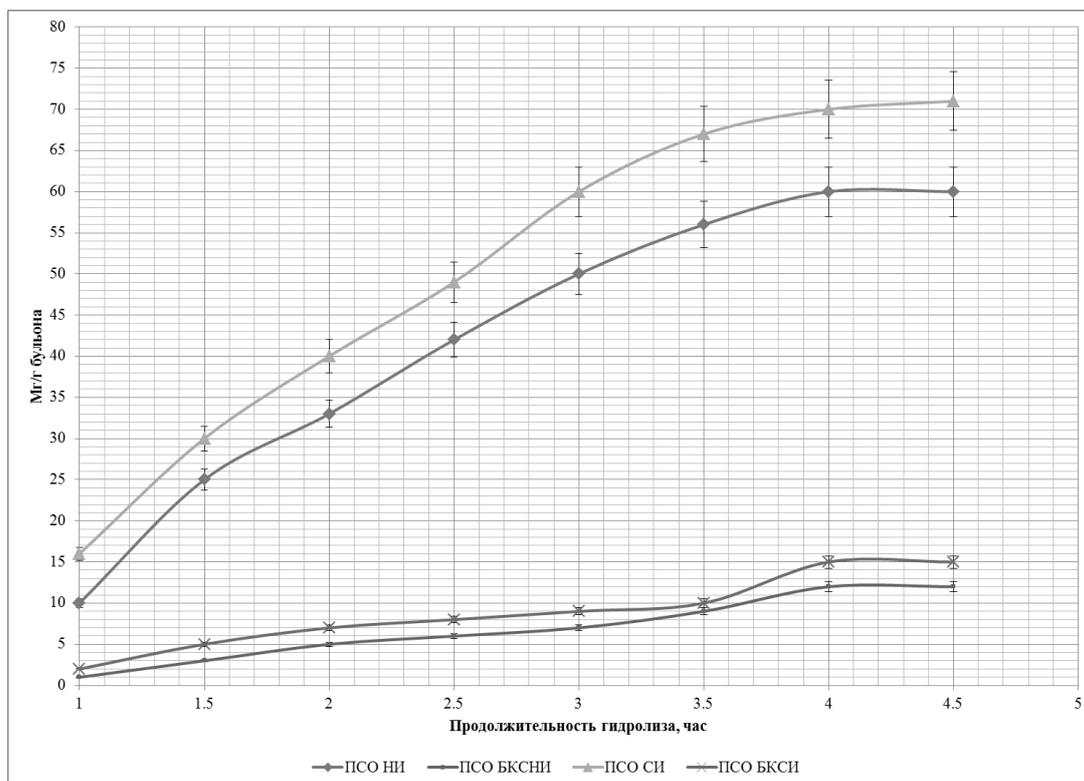


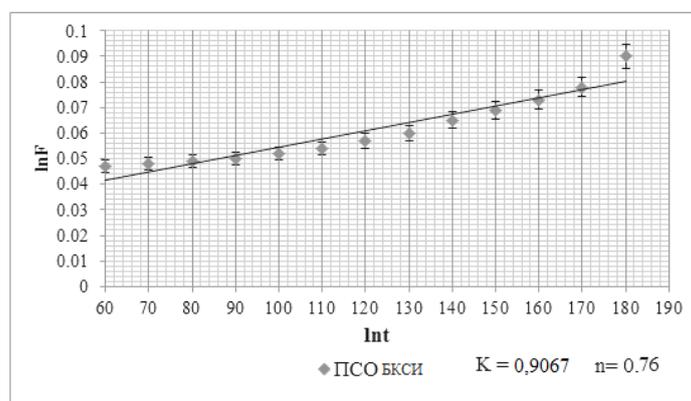
Рис. 1. Динамика перехода АВ в бульон при ферментативном гидролизе
 Fig. 1. Dynamics of transition of nitrogen containing substances to the broth under enzymatic hydrolysis

Для ПСО бесклеточного слоя измельченных (ПСО_{БКСИ}) и неизмельченных (ПСО_{БКСНИ}) наблюдается схожая динамика накопления азотсодержащих веществ в бульоне. В интервале от 3,5 до 4,5 ч для обоих случаев заметно ускорение процесса депротеинизации, что может быть обусловлено интенсивным

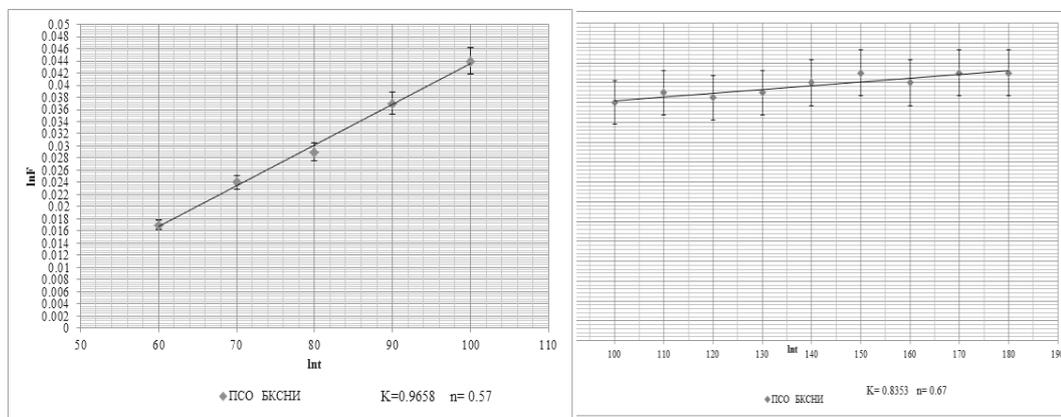
распространением фермента по внутренним слоям панциря, с последующим частичным гидролизом аморфного белка верхнего слоя экзокутикулы (рис. 1).

Дальнейшие исследования были направлены на проверку гипотезы о неоднородности протеолиза ПСО с предварительно удаленным клеточным слоем в аспекте превалирования диффузионного или кинетического характера рассматриваемого процесса. С этой целью для интервалов 60-180 мин и 190-270 мин данные зависимости коэффициента конверсии от времени были аппроксимированы в виде линейно-логарифмического представления уравнения (формула 2).

Для каждого из рассматриваемых случаев были получены приемлемые коэффициенты корреляции и установлены кинетические параметры (рис. 2, 3).



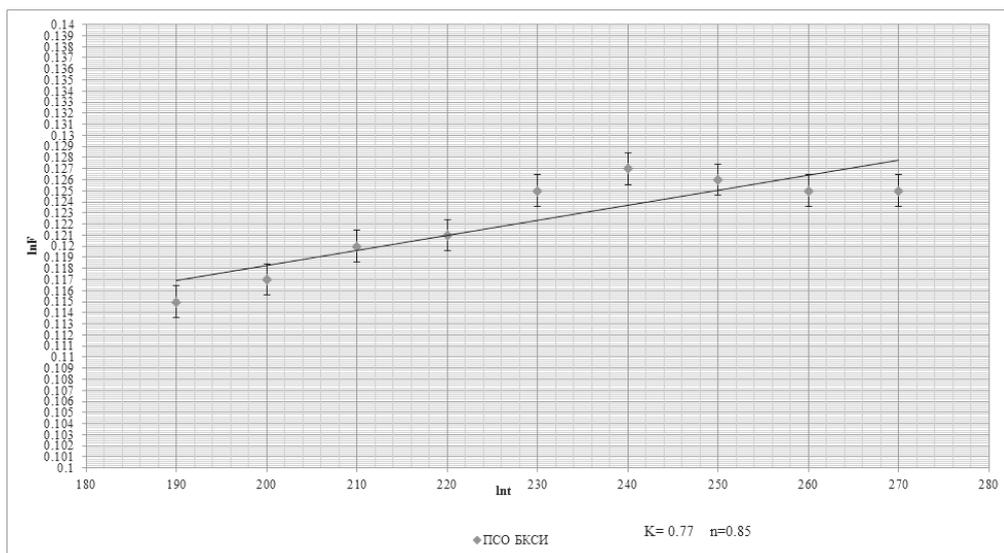
(А)



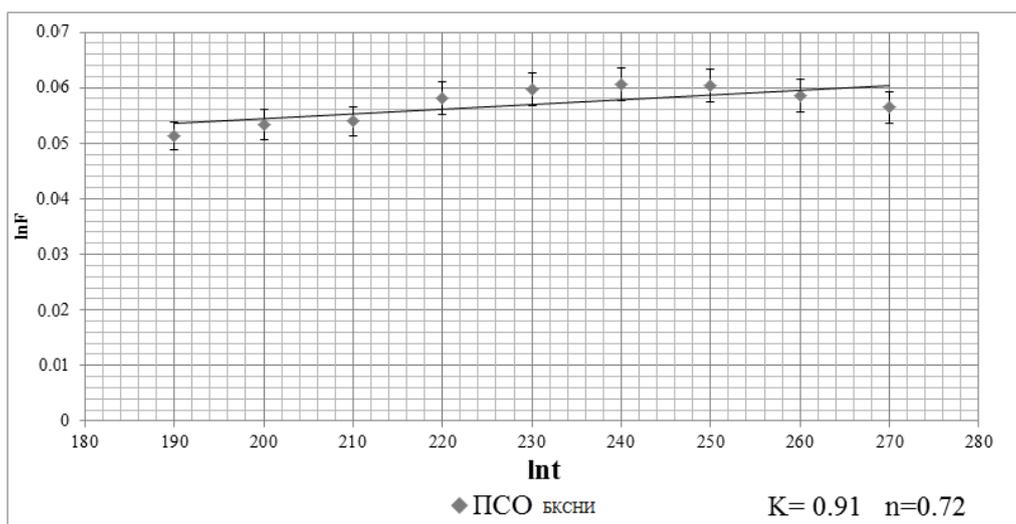
(Б)

Рис. 2. Линейризованные кинетики для ПСО_{БКСИ} (А) и ПСО_{БКСНИ} (Б) в интервале от 60 до 180 мин протеолиза

Fig. 2. Linearized kinetics for the crustacean waste without the cell layer (unground (A) and crushed (B)) in the interval from 60 to 180 minutes of proteolysis



(A)



(B)

Рис. 3. Линеаризованные кинетики для ПСО_{БКСи} (А) и ПСО_{БКСНи} (Б) в интервале от 190 до 270 минут протеолиза

Fig. 3. Linearized kinetics for the crustacean waste without the cell layer (unground (A) and crushed (B)) in the interval from 190 to 270 minutes of proteolysis

При значении $n \approx 0,5$ гидролиз приобретает диффузионный характер, соответственно, при возрастании $0,5 < n < 1$ возрастает влияние кинетических процессов до равнозначного значения. С увеличением параметра «n» возрастает вклад кинетических факторов в характер гидролиза.

Таблица 2. Значение кинетических параметров

Table 2. The value of kinetic parameters

Наименование образцов	Кинетический параметр	Преобладающий характер гидролиза
Интервал от 60 до 180 мин		
ПСО _{БСКИ}	0,76	Кинетический (неявно)
ПСО _{БСКНИ}	От 60 до 100 мин	
	0,57	Диффузионный
	От 100 до 180 мин	
	0,67	Диффузионный
Интервал от 190 до 270 мин		
ПСО _{БСКНИ}	0,72	Диффузионный (неявно)
ПСО _{БСКИ}	0,85	Кинетический

К концу процесса депротеинизации (на интервале 190-270 мин) наблюдается усиление влияния кинетических процессов как для ПСО_{БСКНИ}, так и ПСО_{БСКИ}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что основная масса белка, вероятно, переходит в гидролизат в виде суспензированных кусочков отслоившегося от бесклеточной основы панциря клеточного эпителия.

Подтверждена гипотеза о том, что протеолиз белкового субстрата бесклеточной основы панциря может происходить с преобладанием как диффузионного, так и кинетического характера на различных этапах гидролиза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Немцев, С. В. Получение низкомолекулярного водорастворимого хитозана / С. В. Немцев // Биотехнология. – 2001. – №6 – С. 37-42.
2. Balogun, L. C. Replacement of fish meal with chemically preserved shrimp head in the diets of African catfish, *Clarias gariepinus* / L. C Balogun // Journal of Food Agriculture and Environment. – 2004. - V. 38, No 3. - P. 79-83.
3. Афанасьев, Ю. И. Атлас микроскопического и ультрамикроскопического строения клеток тканей и органов / Ю. И. Афанасьев, Е. Ф Котовский. – Москва: Биология, 1970. – 400 с.
4. Купина, Н. М. Использование отходов от разделки крабов / Н. М. Купина // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 50-57.
5. Ferrer, J. Acid hydrolysis of shrimp-shell wastes and the production of single cell protein from the hydrolysate / J. Ferrer, G. Paez, Z. Marmol, E. Ramones, H. Garcia, C.F. Forster // Journal of Food. – 1996. – V. 35, No 2. – P. 55-60.
6. Бахолдина, Л. П. Исследования технологических характеристик и процессов обработки антарктического криля / Л. П. Бахолдина // Сборник трудов АтлантНИРО. – 2008. – №3. – С. 27 - 35.

7. Simpson, B. K. The use of proteolytic enzymes to extract Carotenoproteins from shrimp wastes / B.K. Simpson // *Journal of Applied Biochemistry*. – 1985. - V. 44, No 1. - P. 212 - 222.
8. Немцев, С. В. Комплексная технология хитина и хитозана из панциря ракообразных / С. В. Немцев. – Москва: Изд-во «ВНИРО», 2006. – 107 с.
9. Holanda, H. D. Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis / H.D. Holanda, F.M. Netto // *Journal of Food Agriculture and Environment*. - 2006. - V.17, No 5. - P. 298 – 303.
10. Armenta, E. Amino acid profile and enhancement of the enzymatic hydrolysis of fermented shrimp carotenoproteins/ E. Armenta, I. Guerrero-Legarreta // *Journal of Food Chemistry*. - 2009. - V.112, No 2. - P. 310-315.
11. Dey, S. S., Dora K. C. Optimization of the production of shrimp waste protein hydrolysate using microbial proteases adopting response surface methodology / S.S. Dey, K. C. Dora // *Journal of Food Science and Technology*. – 2014. – V. 51, No 1. – P. 16-24.
12. Самсонов, М. В. Сравнительный анализ выделения астаксантина из панцирных отходов ракообразных с использованием ферментных препаратов трипсин, химотрипсин, протосубтилин / М. В. Самсонов, М. Л. Винокур, М. П. Андреев // *Известия КГТУ*. – 2017. – №44. – С. 143-150.

REFERENCES

1. Nemtsev S. V. Poluchenie nizkomolekuljarnogo vodorastvorimogo hitozana [Preparation of low molecular water-soluble chitosan]. *Biotechnology*, 2001, no 6, pp. 37-42.
2. Balogun L. C. Replacement of fish meal with chemically preserved shrimp head in the diets of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2004, vol. 38, no 3, pp. 79-83.
3. Afanasiev Y. I. Atlas mikroskopicheskogo i ul'tramikroskopicheskogo stroenija kletok tkanej i organov [Atlas of the microscopic and submicroscopic structure of cells, tissues and organs]. *Journal of Biologija*, 1970, 400 p.
4. Kupina N. M. Ispol'zovanie othodov ot razdelki krabov [Use of waste from cutting]. *Fisheries*, 2007, vol. 4, pp. 50-57.
5. Ferrer J., Paez, G., Marmol Z., Ramones E., Garcia H., Forster C.F. Acid hydrolysis of shrimp-shell wastes and the production of single cell protein from the hydrolysate. *Journal of Food*. 1996, vol. 35, no. 2, pp. 55-60.
6. Baholdina L. P. Issledovanija tehnologicheskikh harakteristik i processov obrabotki antarkticheskogo krilja [Study of technological characteristics and procedures of processing Antarctic krill]. *Journal of AtlantNIRO*, 2008, vol. 3, pp. 27-35.
7. Simpson B.K. The use of proteolytic enzymes to extract Carotenoproteins from shrimp wastes. *Journal of Applied Biochemistry*. 1985, vol. 44, no. 1, pp. 212-222.
8. Nemtsev S. V. *Kompleksnaja tehnologija hitina i hitozana iz pancirja ra-koobraznyh* [Complex technology of chitin and chitosan from the shell of crustaceans]. Moscow, Izd. tsentr “VNIRO”, 2006, 107 p.

9. Holanda H. D. Recovery of components from shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) processing waste by enzymatic hydrolysis. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2006, vol. 17, no. 5, pp. 298-303.

10. Armenta E. Amino acid profile and enhancement of the enzymatic hydrolysis of fermented shrimp carotenoproteins. *Journal of Food Chemistry*. 2009, vol. 112, no. 2, pp. 310-315.

11. Dey S. S. Optimization of the production of shrimp waste protein hydrolysate using microbial proteases adopting response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. 2014, vol. 51, no. 1, pp. 16-24.

12. Samsonov M. V. Sravnitel'nyi analiz videleniya astaksantina iz pancirnih othodov rakoobraznih s ispolzovaniem fermentnih preparatov tripsin himotripsin protosubtilin [Comparative analysis of astaxanthin release from crustacean waste with the use of enzyme preparations such as trypsin, chymotrypsin, protosubtilin]. *Journal of the proceedings of KSTU*, 2017, vol. 44, pp. 143-150.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Samsonov Maxim Vyacheslavovich – Kaliningrad State Technical University;
Postgraduate student of the Department of food products technology;
E-mail: Samsonov-Sk@ya.ru

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

Vinokur Michail Leonidovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD., Associate Professor of the Department of food products technology;
E-mail: VinokurML@mail.ru

Андреев Михаил Павлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник;
E-mail: andreev@atlant.baltnet.ru

Andreev Mikhail Pavlovich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of technical Sciences, Professor, senior researcher;
E-mail: andreev@atlant.baltnet.ru

УДК 621.565

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ
В ВОЗДУШНЫХ И ПЛИТОЧНЫХ МОРОЗИЛЬНЫХ АППАРАТАХ

В. Н. Эрлихман, Ю. А. Фатыхов

ENERGY EFFECTIVENESS OF FREEZING PROCESSES IN BLAST AND PLATE
FREEZES

V. N. Erlikhman, Ju. A. Fatykhov

Показано, что сравнение морозильных аппаратов по эффективности должно выполняться при одинаковых начальных и конечных параметрах продукта и для одного его вида. Использование с этой целью удельных технико-экономических показателей, приведенных в литературе, таким требованиям не отвечает, так как не оговариваются условия, для которых они получены. Расчетным путем выполнено сравнение воздушных и плиточных морозильных аппаратов по энергозатратам при замораживании продуктов в блоках и изменению энтропии в системе *продукт-хладагент*. Используются известные формулы для определения доли вымороженной воды и конечной среднеобъемной температуры. Получены математические зависимости для расчета количества тепла, отводимого от одного килограмма продукта Δq , и изменения его энтропии Δs при замораживании от начальной T_n до конечной среднеобъемной температуры T_v . Установлена конечная среднеобъемная температура блока продукта при замораживании в воздушном морозильном аппарате $T_v=251,95$ К, которая принята для плиточного аппарата, и по ее величине определена температура кипения хладагента $T_{оп}=248,65$ К, обеспечивающая одинаковые конечные параметры продукта при его замораживании в воздушном и плиточном морозильных аппаратах. Рассчитано удельное количество тепла, отводимого от продукта при замораживании, составившее $\Delta q=297,96$ кДж/кг, а также изменение энтропии в системе *продукт-хладагент* для воздушного морозильного аппарата $\Delta s^B=0,17$ кДж/(кг·К) и плиточного аппарата $\Delta s^П=0,09$ кДж/(кг·К). Определены затраты энергии на компрессоры холодильной установки при замораживании одной тонны продукта, равные для воздушного морозильного аппарата (без учета мощности электродвигателей вентиляторов) 46,2, для плиточного аппарата 27,7 кВт·ч/т и отражающие существенную энергоэффективность плиточных аппаратов по сравнению с воздушными.

морозильный аппарат, плиточный, воздушный, энергоэффективность

It has been demonstrated that comparison of freezers for their effectiveness should be performed at similar initial and final parameters of the product and for one kind of it. The use for this purpose of specific technics and economy indexes given in special literature does not meet these requirements as they do not mention conditions for which they have been obtained. By a calculation method a comparison was performed

of plate and blast freezers for energy consumption at freezing products in blocks and for entrophy change in a system product – coolant.

The contents of moisture in product is taken as $W=0.8$, coolant boiling temperature in air freezer $T_0=233.15\text{K}$, block thickness $\delta=65\text{mm}$, final temperature at its centre for both freezers $T_n=255.15\text{K}$, ice formation constant $L=335\text{ kJ/kg}$, heat conductivity coefficient of the frozen product $\lambda=1.0\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, heat transfer coefficient for freezer $\alpha=35\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ and plate freezer - $\alpha=1000\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, rectilinear distribution of temperature in the frozen product. The well known formulae are used for determining share of frozen out water and final mean volume temperature. Mathematical dependencies for determining amount of heat, removed from one kg of product Δq and change its entrophy Δs at freezing from initial T_i to final mean volume temperature T_v have been obtained. The final mean volume temperature of block product at freezing in blast freezer $T_v=251.95\text{ K}$ which is taken for plate freezer and this magnitude is used for determining coolant boiling temperature $T_{on}=248.65\text{ K}$, providing similar find product parameters at its freezing in blast and plate freezers was calculated. Specific heat amount removed from product at its freezing equal to $\Delta q=297.96\text{ kJ/kg}$ as well as entrophy change in the septem product – coolant for blast freezer $\Delta s^b=0.17\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ and plate freezer $\Delta s^p=0.09\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ has been calculated. Energy expenses for refrigeration unit compressors for freezing one T_{on} of product equal to $46.2\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ for blast freezer and $27.7\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ for plate freezer without taking into account fans engines capacity which reflect considerable energy effectiveness of plate freezers in comparison with the blast ones.

freezer, plate freezer, blast freezer, energy effectiveness

Одной из наиболее важных проблем современности является экономия энергии. В пищевой промышленности длительное сохранение сырья и готовой продукции обеспечивают их замораживанием, которое является наиболее энергозатратным процессом холодильной технологии и осуществляется, главным образом, в воздушных и плиточных морозильных аппаратах. Их преимущества и недостатки известны [1, 2].

Сравнительную оценку технических показателей морозильных аппаратов проводят по многочисленным удельным характеристикам на единицу производительности, к которым относятся установленная и затрачиваемая на холодильную установку мощность, масса, занимаемые объем и площадь, расход холода на килограмм замораживаемой продукции и др.

При их значительном спектре выбор типа и производительности морозильного аппарата осуществляют в зависимости от приоритетов, выдвигаемых заказчиком.

Однако удельные характеристики приведены, как правило, без указания температурных режимов работы морозильных аппаратов, вида, начальных и конечных параметров замораживаемого продукта, что не всегда дает возможность объективно оценить их преимущества и недостатки в конкретных условиях эксплуатации.

Так как в эксплуатационных расходах на замораживание продуктов наибольшую часть составляют энергозатраты на холодильную установку, то осо-

бенно важной характеристикой морозильного аппарата являются затраты энергии на компрессоры холодильной установки.

Плиточные морозильные аппараты по сравнению с воздушными согласно термодинамике холодильных машин и теплофизическим законам холодильной технологии пищевых продуктов обладают более высокой энергоэффективностью, так как в них продукт замораживается хладагентом с температурой кипения T_0 через стенки плит с крайне незначительным термическим сопротивлением и высокими значениями коэффициента теплоотдачи α . Так, для плит из сплава алюминия и магния с коэффициентом теплопроводности $\lambda \approx 100 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ [3-6] и толщиной стенок 5 мм термическое сопротивление $\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{\text{пл}} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2\cdot\text{К} / \text{Вт}$.

В воздушных аппаратах замораживание осуществляют промежуточной средой – воздухом с температурой выше температуры кипения хладагента на $6\dots 10^\circ\text{C}$ и значительно более низкими коэффициентами теплоотдачи.

Из вышесказанного следует, что корректная сравнительная оценка морозильных аппаратов по затратам энергии должна выполняться при одинаковых характеристиках замороженного продукта, таких как вид, начальная и конечная температура в его центре и среднеобъемная температура. Кроме того, поскольку замораживание связано с переносом тепла от продукта к хладагенту, целесообразно проведение оценки энергоэффективности по величине необратимости процесса в этой системе, определяемой изменением энтропии.

МЕТОДИКА

Энергетическая оценка эффективности замораживания в плиточных и воздушных морозильных аппаратах была выполнена для одинаковых условий их эксплуатации и близких к практическим. Принято, что относительное содержание воды в продукте, замораживаемом в виде блока толщиной $\delta=65\text{мм}$, $W=0,8$. Удельная теплоемкость воды и продукта до начала льдообразования $c_w=4,19$ и $c_0=3,60 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ соответственно. Начальная температура продукта $T_n=283,15 \text{ К}$, а в центре блока при замораживании в воздушном и плиточном морозильных аппаратах $T_{\text{ц}}=255,15 \text{ К}$. Коэффициент теплопроводности продукта в замороженном состоянии $\lambda=1,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

С целью упрощения расчетов приняты: прямолинейное распределение температуры по толщине блока и постоянные теплота льдообразования $L=335 \text{ кДж}/\text{кг}$ и удельная теплоемкость льда $c_{\text{л}}=2,12 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Температура кипения хладагента $T_0=233,15 \text{ К}$; температура воздуха в воздушном морозильном аппарате $T_{\text{в}}=T_0+10=243,15 \text{ К}$. Коэффициент теплоотдачи от продукта к воздуху $\alpha=35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, а от продукта к хладагенту в плиточном аппарате $\alpha=1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Конечные среднеобъемные температуры блоков, замороженных в воздушном и плиточном морозильных аппаратах $T_{\text{в}}$, равны.

Процесс замораживания рассмотрен как двухэтапный. На первом этапе продукт охлаждается от начальной T_n до среднеобъемной температуры, равной температуре начала замерзания $T_{\text{нз}}$, а на втором этапе замораживается от $T_{\text{нз}}$ до конечной среднеобъемной температуры $T_{\text{в}}$.

Изменение энтропии продукта в этом случае определяется выражением

$$\Delta S_{\text{п}} = S_{T_{\text{нз}}} - S_{T_{\text{в}}} = \int_{T_n}^{T_{\text{нз}}} \frac{\delta q_0}{T} + \int_{T_{\text{нз}}}^{T_{\text{в}}} \frac{\delta q_3}{T}, \quad (1)$$

где $s_{T_{H3}}$ и s_{T_v} – энтропии продукта при T_{H3} и T_v , кДж/(кг·К); δq_0 и δq_3 – количество тепла, отведенного от продукта на этапах охлаждения и замораживания, кДж/кг, соответственно, определяются по формулам [7, 8]:

$$\delta q_0 = c_0 dT \quad (2)$$

$$\text{и } \delta q_3 = c_\omega dT = \left[c_0 - (c_w - c_l)W\omega - LW \frac{d\omega}{dT} \right] dT, \quad (3)$$

где c_ω – полная с учетом теплоты льдообразования удельная теплоемкость продукта, кДж/кг; ω – доля вымороженной воды в процессе замораживания при температуре T , рассчитываемая по известной формуле Г. Б. Чижова [7]:

$$\omega = 1 - \frac{T_{H3} - 273,15}{T_v - 273,15}. \quad (4)$$

Знак «минус» перед последним членом в выражении (3) показывает, что с понижением температуры T доля вымороженной воды увеличивается.

Тогда из выражений (1) - (3) получим количество отведенного тепла от продукта и изменение его энтропии при замораживании от T_H до T_v :

$$\Delta q = \int_{T_H}^{T_{H3}} c_0 dT + \int_{T_{H3}}^{T_v} \left[c_0 - (c_w - c_l)W\omega - LW \frac{d\omega}{dT} \right] dT, \quad (5)$$

$$\Delta s_{\Pi} = \int_{T_H}^{T_{H3}} c_0 \frac{dT}{T} + \int_{T_{H3}}^{T_v} \left[c_0 - (c_w - c_l)W\omega - LW \frac{d\omega}{dT} \right] \frac{dT}{T}. \quad (6)$$

Для расчета изменения энтропии продукта и количества тепла, отведенного от него, следует проинтегрировать выражения (5) и (6), куда входит как один из пределов интегрирования величина среднеобъемной температуры продукта по окончании процесса замораживания, которую определяли при принятом прямолинейном распределении температуры по формуле:

$$T_v = T_{\Pi} - \frac{1}{2} \frac{B_i}{B_i + 1} (T_{\Pi} - T_0). \quad (7)$$

В результате интегрирования выражений (5) и (6) получены следующие формулы для вычисления удельного количества отведенного тепла от продукта и изменения его энтропии в процессе замораживания от T_H до T_v :

$$\Delta q = c_0(T_v - T_H) - (c_w - c_l)W(T_v - T_H) + (c_w - c_l)W(T_{H3} - 273,15) \times \ln \frac{T_v - 273,15}{T_H - 273,15} - LW(T_{H3} - 273,15) \left(\frac{1}{T_v - 273,15} - \frac{1}{T_H - 273,15} \right), \quad (8)$$

$$\Delta s_{\Pi} = c_H - c_v = c_0 \ln \frac{T_v}{T_H} - (c_w - c_l)W \ln \frac{T_v}{T_H} + (c_w - c_l)W(T_{H3} - 273,15) \times \frac{1}{273,15} \ln \frac{T_v - 273,15}{T_H - 273,15} \cdot \frac{T_H}{T_v} + LW(T_{H3} - 273,15) \frac{1}{273,15^2} \times \left(\ln \frac{T_v - 273,15}{T_H - 273,15} \cdot \frac{T_H}{T_v} + \frac{T_v}{T_v - 273,15} - \frac{T_H}{T_H - 273,15} \right). \quad (9)$$

Формула (7) применена для определения температуры кипения хладагента в плиточном морозильном аппарате $T_{оп}$, обеспечивающей равные с воздушным аппаратом конечную температуру в центре блока и его конечную среднеобъемную температуру, что создает корректные условия для их сопоставления:

$$T_{оп} = \frac{2(B_i + 1)}{B_i} \left[T_v - T_{\Pi} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{B_i}{B_i + 1} \right) \right]. \quad (10)$$

Изменение энтропии в системе *незамороженный продукт-хладагент* рассчитывали по правилу аддитивности:

$$\Delta s = \Delta s_{\Pi} - \Delta s_{\Pi-a}, \quad (11)$$

где $\Delta s_{п-а}$ – изменение энтропии в системе *замороженный продукт-хладагент*, кДж/(кг·К), равно для воздушного аппарата $\Delta s_{п-а}^B = \frac{\Delta q}{T_0}$ и для плиточного аппарата $\Delta s_{п-а}^П = \frac{\Delta q}{T_{оп}}$.

Для определения затрат энергии на привод компрессоров холодильной установки при замораживании одной тонны продукта, без учета других источников теплоступлений в морозильный аппарат, использовали формулу, известную из термодинамики холодильных машин [9]:

$$\mathcal{E} = 0,278 \frac{\Delta q}{\varepsilon_k \eta}, \quad (12)$$

где 0,278 – переводной коэффициент из кДж/кг в кВт·ч/т; ε_k – холодильный коэффициент обратного цикла Карно, определяемый из выражений для воздушного и плиточного аппарата, соответственно:

$$\varepsilon_k^B = \frac{T_0}{T - T_0}, \quad \varepsilon_k^П = \frac{T_{оп}}{T - T_{оп}}; \quad (13)$$

T – температура конденсации хладагента, К; η – коэффициент обратимости действительного цикла по отношению к циклу Карно, учитывающий дополнительные затраты энергии из-за необратимости процесса дросселирования хладагента и его сжатия до температуры выше температуры конденсации и уменьшающийся с понижением температуры кипения хладагента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для принятых практических условий эксплуатации плиточных и воздушных морозильных аппаратов и одинаковых начальной температуры продукта и температуры кипения хладагента получены следующие результаты. При принятой конечной температуре в центре блока $T_{ц}=255,15$ К его конечная среднеобъемная температура в воздушном аппарате составляла $T_v=251,95$ К и была принята для плиточного аппарата с целью обеспечения сопоставимых условий.

Расчеты по определению количества отведенного тепла от продукта и изменения его энтропии в процессе замораживания по формулам (8) и (9) дали отрицательные значения, составившие, соответственно, $\Delta q = -297,96$ кДж/кг и $\Delta s_{п} = -1,11$ кДж/(кг·К), что означает отвод тепла от продукта к охлаждающей среде и понижение его температуры.

Для принятого значения $T_{ц}$ и полученной величины T_v по формуле (10) установлена температура кипения в плиточном морозильном аппарате $T_{оп}=248,61$ К, обеспечивающая одинаковые конечные параметры продукта при его замораживании в воздушном и плиточном аппаратах.

При определении изменения энтропии в системе *продукт-хладагент* учтено, что тепло к хладагенту подводится. Поэтому величина Δq подставлена в зависимость (11) со знаком плюс. В итоге получено, что для воздушного аппарата $\Delta s^B = 0,17$ кДж/(кг·К), для плиточного $\Delta s^П = 0,09$ кДж/(кг·К). То есть необратимые потери теплообмена при использовании воздушных аппаратов в 1,9 раз больше, чем при применении плиточных.

При определении энергозатрат на привод компрессоров холодильной установки (при замораживании одной тонны продукта) были приняты температура конденсации хладагента $T_{oc}=311,15$ К и коэффициенты обратимости: $\eta=0,85$ при применении плиточных аппаратов с температурой кипения $T_{оп}=248,61$ К и $\eta=0,6$

при использовании воздушных аппаратов с более низкой температурой кипения $T_0=233,15$ К. В результате расчетов получено, что холодильные коэффициенты составили, соответственно, 3,98 и 2,99, а энергозатраты 27,7 и 46,2 кВт·ч/т. Таким образом, энергозатраты при применении воздушных морозильных аппаратов в 1,7 раза больше, чем при использовании плиточных аппаратов.

При определении энергозатрат на замораживание продукта в воздушных морозильных аппаратах не учитывались дополнительные теплопоступления и мощность вентиляторов, поэтому в целом энергозатраты в таких аппаратах будут несколько выше полученного значения.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительную оценку морозильных аппаратов по энергоэффективности следует проводить при одинаковых начальных и конечных параметрах продукта одного вида. В этом случае при заданной температуре кипения хладагента в одном из аппаратов определяют температуру кипения в другом аппарате, что обеспечивает возможность их сопоставления.
2. Величина изменения энтропии в системе *продукт-хладагент* адекватно отражает энергоэффективность морозильных аппаратов.
3. Энергоэффективность плиточных морозильных аппаратов в 1,67 раза превышает таковую воздушных аппаратов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Валентас, К. Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчета: пер. с англ. / К. Дж. Валентас, Э. Ротштейн, Р. П. Сингх. – Санкт-Петербург: Профессия, 2004. – 848с.
2. Эванс, Дж. А. Замороженные пищевые продукты: производство и реализация: пер. с англ. / Дж. А. Эванс. – Санкт-Петербург: Профессия, 2010. – 440с.
3. Ионов, А. Г. Повышение эффективности морозильных установок рыбопромысловых судов / А. И. Ионов. – Калининград: Кн. изд-во, 1977. – 151 с.
4. Постольский, Я. Замораживание пищевых продуктов: пер. с польского / Я. Постольский, З. Груда. – Москва: Пищевая промышленность, 1978. – 607 с.
5. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Москва: Энергия, 1977. – 318 с.
6. Creed, P. G. Heat transfer during the freezing of liver in a plate freezer / P. G. Creed, S. J. James // Food Sci. – 1985. N50. P.285-288.
7. Чижов, Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 271 с.
8. Холодильная технология пищевых продуктов: учебник для вузов: в 3 кн. / А. В. Бараненко [и др.]. – Кн.1. – Теплофизические основы. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. – 224с.
9. Холодильные машины / А. В. Бараненко [и др.]. – Санкт-Петербург: Политехника, 2006. – 944с.

REFERENCES

1. Valentas K. D., Rotshtein A., Singh R.P. *Pishhevaja inženierija: spravochnik s primerami rascheta* [Food Engineering with examples]. Saint-Peterburg, Professia, 2004, 848p.
2. Jevans Dzh. A. *Zamorozhennye pishhevye produkty: proizvodstvo i realizacija* [Frozen food products: manufacturing and realization]. Saint-Peterburg, Professia, 2010, 440p.
3. Ionov A. G. *ovyshenie effektivnosti morozil'nyh ustranovok rybopromyslovyh sudov* [Effectiveness increasing of freezers on fish trading vessels]. Kaliningrad, Knignoe izdatel'stvo, 1977, 151 p.
4. Postol'skij Ja., Gruda Z. *Zamoraghivanie pishhevyh productov* [Freezing of food products]. Per. S pol'sk., Moscow, 1978, 607 p.
5. Miheev M. A., Miheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Basics of heat transfer]. Moscow, Energija, 1977, 318 p.
6. Creed, P. G., James S. J. Heat transfer during the freezing of liver in a plate freezer. *Food science*, 1985. no.50, pp.285-288.
7. Chizhov G. B. *Teplofizicheskie process v holodil'noj tehnologii pishhevuh produktov* [Thermophysical processes in refrigeration technology of food products]. Moscow, 1979, 271 p.
8. Baranenko A. V. and drugie. *Holodil'naja tehnologija pishhevyh produktov* [Refrigeration technology of food products]. Saint-Peterburg, GIORD, 2007, 224p.
9. Baranenko A. V. and drugie. *Holodil'nye mashiny* [Refrigeration machines]. Saint-Peterburg, Politehnika, 2006, 944p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эрлихман Владимир Наумович – Калининградский государственный технический университет; доктор технического наук; профессор кафедры пищевых и холодильных машин; E-mail: elina@klgtu.ru

Erlikhman Vladimir Naumovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: elina@klgtu.ru

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

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

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 581.524;633.2.032;581.55

ОСВОЕНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОД ЛУГОВЫЕ И ПАСТБИЩНЫЕ УГОДЬЯ

О. М. Бедарева, Т. Н. Троян, Л. С. Мурачёва, О. А. Анциферова,
О. П. Федюнина, Г. В. Горшнина

DEVELOPMENT OF FALLOWS FOR MEADOW AND PASTURE LANDS

O. M. Bedareva, T. N. Troyan, L. S. Muracheva, O. A. Anciferova,
O. P. Fedunina, G. V. Gorshinina

В результате реорганизации сельского хозяйства площадь выбывшей из оборота пашни в стране достигла свыше 40 млн. га. Для изучения сукцессионных процессов растительного покрова на залежах с целью рационального использования земельных ресурсов и охраны окружающей среды, а также очередности их возврата и освоения необходима актуализированная информация обо всех растительных сообществах исследуемых угодий. В связи с этим осуществлены изучение особенностей зарастания земель, исключенных из сельскохозяйственного оборота, оценка видового состава растительности, стадий самозарастания и их длительности. Выведенные в залежь угодья с экономической точки зрения – это убыточные земли; кроме того, являясь резерватами вредных организмов, они обуславливают устойчивый риск постоянной угрозы распространения злостных сорняков, инвазии вредителей и возбудителей болезней на посевы культурных растений. Поэтому изучение растительности залежей и динамики процессов самозарастания имеет большое теоретическое и практическое значение, а обозначенная проблема использования залежных земель требует решения. Актуальность темы обусловлена необходимостью реконструкции выбывшей из оборота пашни в пастбища и сенокосы для сохранения сельскохозяйственных угодий, увеличения производства кормов и восстановления плодородия почв. Нами осуществлены рекогносцировочные обследования залежи и выделены ключевые участки; проведён развернутый флористический и экобиоморфологический анализ растительного покрова; рассмотрена стадийность самозарастания молодой залежи в условиях заповедного режима; выявлены растения перспективные в кормовом отношении по шкале Э. Клаппа; оценён ресурсный потенциал территории для сенокосного и пастбищного использования.

залежь молодая, залежь средневозрастная, флористический состав, ключевой участок, сенокосы и пастбища, самозарастание, поверхностное улучшение

As a result of reorganization of agriculture, the area eliminated from the turnover of arable lands in the country has reached more than 40 million hectares. To study the succession processes of vegetation cover on fallow lands with the purpose of rational use of land resources and environmental protection, as well as the order of their

return and development, updated information on all plant communities of the studied lands is necessary. In connection with this, a study was made on the features of the overgrowing of lands excluded from agriculture, assessment of the species composition of vegetation, stages of self-growth and their duration. From the economic point of view, the grounds withdrawn from the economic zone are loss-making lands, moreover, being pests reserves, they cause a permanent risk of a constant threat of spreading harmful weeds, invasion of pests and pathogens into crops. Therefore, the study of fallow vegetation and dynamics of self-growth processes is of great theoretical and practical importance, and the designated problem of using fallow lands requires a solution. The relevance of the topic is determined by the need to reconstruct the arable land that has left the market in pastures and hayfields to preserve agricultural land, increase feed production and restore soil fertility. In the article the following problems were solved: reconnaissance surveys of the fallow lands were carried out and key areas were identified; a detailed floristic and ecobiomorphological analysis of the vegetation cover was carried out; staging of self-growth of a young fallow land in reservation conditions; plants promising in the fodder relation were identified according to E. Klapp's scale; resource potential of the territory for haymaking and pasture use was estimated.

young fallow land, middle-aged fallow land, floristic composition, key area, hayfields and pastures, overgrowth, surface improvement

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с ограниченностью земельных ресурсов произошли изменения в структуре сельскохозяйственных угодий, в частности, увеличилась площадь неиспользуемой пашни. Основные территории средневозрастной залежи зарастают грубостебельными и плохо поедаемыми видами, в связи с чем повышается опасность появления сорной растительности, кустарника и мелколесья. Такие процессы на пашне происходят ускоренными темпами по сравнению с таковыми на природных лугах и в дальнейшем могут привести к резкому увеличению затрат при повторном освоении этих площадей под сельскохозяйственные угодья, так как потребуются проведение культуртехнических мероприятий. Предотвращение деградации сельскохозяйственных угодий, предназначенных под пастбища и сенокосы, возможно благодаря их своевременному освоению, которое является одним из доступных способов сохранения территорий, занятых залежами. Зарастание многолетней травянистой растительностью способствует увеличению содержания органического вещества в почве, а формирование сомкнутого травостоя препятствует внедрению кустарников и мелколесья. В перспективе эти площади могут рассматриваться как резерв для увеличения пахотных земель.

Залежные земли присутствуют практически во всех природных зонах территории России и постсоветского пространства, не является исключением и Калининградская область.

По данным МСХ РФ и РАСХН, площадь неиспользуемой пашни - вынужденной залежи - увеличилась до 40 - 41,5 млн. га [1, 2]. В Калининградской области площадь земель сельскохозяйственного назначения по состоянию на 2015 г. составляет 813,5 тыс. га, из них 737,6 тыс. га – сельскохозяйственные угодья. Из общей площади сельскохозяйственных угодий пашня занимает 372,0 тыс. га,

кормовые угодья – 357,7 тыс. га [3]. Часть земель по своему целевому назначению не используется, заросла древесной и кустарниковой растительностью. Кроме того, продолжается снижение плодородия почв и ухудшение состояния земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства. В современных условиях актуально рациональное использование всех сельскохозяйственных угодий, в том числе выбывшей из активного обращения пашни [4].

Цель статьи состоит в разработке приёмов освоения залежи и преобразования её в луговые и пастбищные угодья в региональных условиях.

Практическая значимость исследований заключается в оценке видового состава, хозяйственной ценности растительности залежи и в разработке научно-практических рекомендаций по трансформации огромного массива залежных земель, большая часть которых представляет собой бросовые земли, в продуктивные угодья – сенокосы и пастбища.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужила молодая залежь, ориентир – участок Холмогоровка 2 (Зеленоградский район). Климат соответствует зональному (фоновому). Основные черты его формируются под воздействием морского и континентального воздуха умеренных широт, почвенный покров – при взаимодействии особых региональных факторов. Обильное увлажнение, слабая испаряемость и тяжелый гранулометрический состав многих материнских пород (глины и суглинки) способствуют заболачиванию и оглеению. Почвы дерново-подзолистые разной степени оглеения, в понижениях – дерново-глеевые [5, 6].

В полевых исследованиях, которые были проведены на трех ключевых участках, принят маршрутно-ключевой, а также использованы традиционные геоботанические методы. В основу этих исследований положены рекомендации, содержащиеся в известных общепринятых руководствах (Алехин, 1938; Полевая геоботаника, 1959, 1964; Василевич, 1969). Описание растительных сообществ проведено на выделенных ключевых участках. Учитывались полный флористический состав сообщества, обилие видов по шкале Друде, проективное покрытие, ярусное распределение. Растения определены по справочникам "Флора СССР" (1934 - 1960), "Флора Европейской части СССР" (1974 - 1979), "Флора средней полосы европейской части России" (2006). Анализ жизненных форм осуществлялся по классификации И. Г. Серебрякова (1964). Выявлено массовое распространение отдельных представителей почвенной фауны (муравьи, кроты). На молодых залежах присутствие таких популяций является предпосылкой для изучения их роли в процессах почвообразования. Учет муравейников и кротовых холмиков проводился на площадках 100 м².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление параметров таксономической структуры (общее число семейств, родов, видов, доля одновидовых родов и семейств, доля видов в десяти ведущих семействах и ряд других) является одним из важнейших элементов флористического анализа и имеет большое прикладное значение для последовательности освоения залежи и введения её в оборот [7].

Ключевой участок 1 представлен многолетней травянистой растительностью – разнотравно-злаковыми ассоциациями. Фитоценозы имеют

трехъярусное сложение: первый ярус – золотарник гигантский (*Solidago gigantea*) - 183 см, овсяница гигантская (*Festuca gigantea*) - 144 см, полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*) - 128 см; второй ярус – пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*) - 80 см; третий ярус – полевица тонкая (*Agrostis capillaris*) - 60 см. Низовые растения представлены одуванчиком лекарственным (*Taraxacum officinale*), мышинным горошком (*Vicia cracca*). Ингредиентные виды фитоценоза: зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), скерда двулетняя (*Crepis biennis*), ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella*), подмаренник цепкий (*Galium aparine*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), стенактис однолетний (*Stenaktis annua*), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa*), кокорыш обыкновенный (*Aethusa cynapium*), морковь дикая (*Daucus carota*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), липучка обыкновенная (*Lappula echinata*), бухарник шерстистый (*Holcus lanatus*), костер мягкий (*Bromus mollis*), щавель конский (*Rumex confertus*). В травянистом покрове встречается значительное количество рудеральных монокарпических видов.

На территории отмечена активная деятельность землероев: полевых мышей, кротов. Закочкаренность территории до 30 % (до 12 кочек на площади 5 м²), высота кочек 27 см. Напочвенный покров представлен мхами. Высокий процент омохovelости указывает на отсутствие пастбищной нагрузки. В процессе обследования отмечена закустаренность территории, встречаются древесные растения: береза (*Betula pendula*) - 2,2-3,0 м.

По верховодке повсеместно наблюдаются влаголюбивые растения: ситник развесистый (*Juncus effusus*) до 1 м. Ярко выражена мозаичность, обусловленная эдафотопическими и ценобиотическими причинами. Высокорослые злаки образуют куртины: вейник наземный (*Calamagrostis epigaeos*) — высота 146 см (проективное покрытие 100 %), а также тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), которые перемежаются с микроценозами низовых растений: горошек четырехсемянный (*Vicia tetrasperma*), дымянка лекарственная (*Fumaria officinalis*). Мозаичность усугубляется присутствием культуры, которая ранее возделывалась на объекте: например, рапс (посев 2000 г.) прорастает сквозь куртину полевицы тонкой (*Agrostis capillaris*) – проективное покрытие 100%.

Ключевой участок 2. Разнотравно-злаковые ассоциации с преобладанием щучки дернистой (*Deschampsia caespitosa*). По сравнению с предыдущей ассоциацией процент щучки увеличился. Вейник наземный (*Calamagrostis epigaeos*) и бухарник шерстистый (*Holcus lanatus*) формируют куртины (2,5 x 3 м), прочие растения имеют диффузный характер размещения: скерда двулетняя (*Crepis biennis*), полевица тонколистная (*Agrostis tenuifolia*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), чертополох курчавый (*Carduus crispus*). Идет процесс активного зарастания территории древесной растительностью: ива козья (*Salix caprea*), береза повислая (*Betula pendula*). Этот ключевой участок отражает следующий возрастной этап – формирование средневозрастной залежи.

На дерново-глеевых почвах распространен пырей ползучий (*Elytrigia repens*), кондоминантами выступают - морковь дикая (*Daucus carota*) высотой 164 см, люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*). Моноценозы кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium*) приурочены к оглееным почвам.

Третий ключевой участок не отличается пестротой и мозаичностью. Абсолютным доминантом (эдификатором) выступает пырей ползучий (*Elytrigia répens*). Пырейный луг - 100 %-ное проективное покрытие. Полное сохранение старики указывает на отсутствие сенокосного использования территории. Модоминантность позволяет предположить, что ранее здесь находилось культурное природное кормовое угодье. Внедрение других видов затруднено за счет высокой сомкнутости травостоя.

Негативное воздействие антропогенеза на природно-территориальные комплексы (ПТК) проявляется в изменении видового состава и структуры растительных сообществ.

Общий список видов, отмеченных на залежи, включает 36, относящихся к 34 родам и 15 семействам.

Ценофлора залежи по основным систематическим группам распределяется следующим образом: 36 видов сосудистых растений представлены одним отделом - покрытосеменные растения, что составляет 100 % общего количества видов, в их числе 11 видов (31 %) однодольных и 25 видов (69 %) двудольных растений.

Луговые сообщества характеризуются высокими показателями видовой насыщенности (36 видов). В качестве доминантов чаще всего выступают: овсяница гигантская (*Festuca gigantea*), полевица тонкая (*Agróstis capilláris*), вейник наземный (*Calamagróstis epigéios*), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa*), бухарник шерстистый (*Hólcus lanátus*), пырей ползучий (*Elytrigia répens*). Полученные данные подтверждают имеющиеся в литературе сведения о флористической однородности залежных участков.

Выявлено, что залежь, по сути, находится в состоянии заповедного режима, что привело к зарастанию её древесной и кустарниковой растительностью. Сформировались формации с преобладанием злаков - вейника наземного - 40 % (от обилия злаков), овсяницы гигантской, полевицы тонколистной, щучки дернистой, бухарника шерстистого, костра мягкого, тимофеевки луговой и полевицы тонкой, с высоким участием разнотравья (полынь обыкновенная, подмаренник цепкий, бодяк полевой, дымянка лекарственная, горошек четырехсемянный, зверобой продырявленный, кипрей узколистный).

В семейственно-видовом спектре ценофлоры залежи лидирующие положение занимают злаки (*Poaceae*) (10 таксонов), далее следуют астровые (*Asteraceae*) и бобовые (*Fabaceae*) (9 и 4 таксона соответственно). Географический анализ флоры по выделенным элементам состава показал, что она относится к средиземноморскому типу *Fabaceae*, подтипу *Apiaceae*, т. е. близка к средневропейской.

Из особенностей ценофлоры залежи можно отметить примыкание к ядру многовидовых семейств бурачниковых (*Boraginaceae*) и гречишных (*Polygonaceae*) - занимают ключевые позиции благодаря эколого-биологическим особенностям: мощной корневой системе (дернина), вегетативной подвижности и др.

Кормовая оценка видов растений позволила выделить четыре агроботанические группы (злаки, бобовые, разнотравье и осоки), различающиеся питательной ценностью. Вид семейства *Juncaceae* отнесен к группе осок. Для определения кормовой ценности всех видов объекта использована шкала

Э. Клаппа (1961). На залежи насчитывается десять (28 %) ценных кормовых (от пяти до восьми баллов по шкале Э. Клаппа) видов, из них шесть относятся к злакам, три - к бобовым, один – к группе разнотравья. Большая часть кормовых растений являются доминантами и содоминантами изученных луговых фитоценозов. К растениям средней кормовой ценности (баллы три и четыре) относятся восемь видов, среди них такие доминанты, как бухарник шерстистый (*Holcus lanátus*), кипрей узколистный (*Chamerion angustifolium*). Низкие оценочные баллы (один и два) присвоены 11 растениям (31 %). В эту группу входят два вида злаков: вейник наземный (*Calamagrostis epigéios*), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa*), один вид осоковых, остальные относятся к разнотравью. Группе разнотравья принадлежат зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum*), чертополох курчавый (*Carduus crispus*), являющиеся наиболее обильными и постоянными.

Растения, которые не имеют хозяйственной ценности и не поедаются животными, оцениваются в ноль баллов. К ним относятся три вида. При определении кормовой ценности видов выделяют группу ядовитых растений, имеющую оценочный балл минус один. Кроме ядовитых растений, существует также группа видов, которая представляет опасность для отдельных пород сельскохозяйственных животных (лошадей, овец), с присвоением ей отрицательного балла. Выявлено четыре вида вредных и ядовитых в той или иной степени растений [8, 9].

Лекарственных растений - 21 вид (58 % от общего числа), медоносных – 14 (39 %). Выявленная специфика растительности и флоры залежи Зеленоградского района обусловлена природно-климатическими условиями и хозяйственным освоением ее территории.

Молодые залежи, как правило, характеризуются многочисленными популяциями двудольного разнотравья. При этом такой их тип рассматривается как бурьянистый, в его составе преобладают однолетние и многолетние сорнотравные группировки. После завершения возделывания культуры на молодой залежи доминирует сегетальная флора, зачатки которой в виде семян и вегетативных органов сохранились в почве. В плане экобиоморф господствуют поликарпические травы. При анализе вертикальной структуры отмечено многоярусное сложение, выделено до четырех ярусов.

Характерный признак маловозрастных залежей – многовидовой состав с преобладанием в травостое представителей семейств *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*. Заметна роль культурных видов, в данном случае повсеместно обнаружены растения рапса. Полностью отсутствует древесная и кустарниковая растительность [10–12].

Оценка культуртехнического состояния позволяет характеризовать маловозрастные залежи как бросовые земли, акультурный тип сообществ, так как преобладают сорные травы с некоторым процентом участия ядовитых и вредных растений. На данном этапе подобный вариант сообществ не может быть рекомендован для сенокосного и пастбищного использования.

Что касается залежей средневозрастных, то здесь в силу сукцессионных процессов меняется видовой состав, характеристики ярусного сложения, не более трех ярусов, проективное покрытие в пределах 75-80%. Уменьшается количество видов за счет выпадения монокарпиков.

В травостое залежи возрастает роль видов семейств *Ariaceae*, *Lamiaceae*, *Boraginaceae*, *Caryophyllaceae* [12, 13]. Зафиксировано отсутствие ценопопуляций культурных растений, ранее обнаруженных.

Усиливается роль полыней, а также кормовых растений, представителей семейств *Fabaceae* и *Poaceae* [14-17]. На этом типе залежей впервые появляется древесная растительность, её кустарниковая жизненная форма, в виде единичных экземпляров, находящихся в вегетативной (виргинильной) стадии, т.е. не способных размножаться половым путём. Анализ видового состава средневозрастных залежей дает основание оценить их как бурьянистые, не имеющие практического значения угодья, так как доля в общей биомассе поедаемых растений еще не превышает 10 %.

ВЫВОДЫ

1. На территории залежи выделены три ключевых участка, различных по видовому составу, почвам, культуртехническому состоянию, ресурсной значимости.

2. Флористический анализ растительности залежи позволил выявить следующее: по числу видов преобладает семейство злаковых (*Poaceae*) - 10, далее следуют астровые (*Asteraceae*) - 9, бобовые (*Fabaceae*) - 4. Прочие семейства являются монотипными либо олиготипными. Во флоре доминируют поликарпические виды (отдел В - Травянистые растения, поликарпики).

3. Залежь находится в режиме заповедования (2004 г.); выделены стадии зарастания объекта:

1-я стадия — доминанты: овсяница гигантская (*Festuca gigantea*), полевица тонкая (*Agrostis capillaris*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), щучка дернистая (*Deschampsia caespitosa*), бухарник шерстистый (*Holcus lanatus*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*). Продолжительность 1 - 10 лет. Соответствует молодой залежи;

2-я стадия — кострово-вейниковые группировки постепенно вытесняются разнотравьем. Появляются единичные экземпляры древесной растительности. Присутствуют береза повислая (*Betula pendula*), ива козья (*Salix caprea*). Продолжительность 11 лет. Соответствует переходу залежи в средневозрастную.

4. Соотношение ценных в кормовом отношении растений и рудералов по трем ключевым участкам различно. Максимальное количество сорно-травной растительности отмечено для первого участка. Третий ключевой участок, представленный пыреем ползучим, уже сейчас можно рекомендовать для сенокосного использования. Прочие участки нуждаются в поверхностном улучшении: культуртехнические мероприятия, подсев ценных кормовых растений.

5. Выбывшие из оборота пашни и освоенные молодые и средневозрастные залежи для создания пастбищ и сенокосов позволяют сохранить площади сельхозугодий для производства кормов, предотвратить зарастание их кустарником, повысить плодородие дерново-подзолистой почвы на суходолах.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Антропогенные приёмы способствуют усилению значимости природных факторов для производства обменной энергии на пастбищах и сенокосах. В современных условиях при ограниченной доступности антропогенных ресурсов нами получены результаты, которые являются новым экспериментальным доказательством возрастания роли этих факторов, например, применение подкормки удобрениями в умеренных дозах на сеяных пастбищах повышает их продуктивность.

В современных рыночных условиях определяющее значение имеют экономические показатели различных способов консервации залежных земель.

При консервации выбывшей из оборота пашни, расположенной на среднекультуренных среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах, для создания долголетних пастбищных угодий (11 лет пользования) в зависимости от условий улучшаемого угодья и ресурсного обеспечения хозяйств можно применять многовариантные технологии. Фитомелиоративная роль многолетних трав на залежах позволит устранить многие деструктивные процессы, воспрепятствовать развитию интегративной эрозии, повысить плодородие почв. Кроме того, присутствие в травосмесях доли бобовых решает проблемы качества кормов.

На основе самозаращения естественной растительностью за счет внедрения ценных видов злаков (мятлики, полевицы, овсяница красная и др.) и клевера ползучего, а также последствий сохранившегося плодородия пахотных угодий повышается их продуктивность и эффективное применение подкормки.

Залужение рекомендуемыми клеверо-злаковыми травостоями (клевер луговой, клевер ползучий, тимофеевка луговая, овсяница луговая, семена районированных сортов) и подкормка с целью повышения их продуктивности или высев простых злаковых травосмесей (тимофеевка, овсяница) с последующим ежегодным внесением удобрений (N весной — под первый и второй циклы использования) приводят к более устойчивому производству корма.

Долголетние сенокосы (с целью использования на 9-11 лет) следует создавать только на основе сеяных травостоев клеверо-злакового состава (клевер луговой, тимофеевка луговая и овсяница луговая при включении районированных сортов) и применения ежегодной подкормки, а также на базе сеяных злаковых травостоев (тимофеевка, овсяница).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каштанов, Н. И. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования / Н. И. Каштанов, О. А. Сизов // Экономика сельского хозяйства России. – 2008. - № 11. – С. 174-183.

2. Чекмарёв, П. В. О ходе подготовки к проведению весенне-полевых работ в 2011 году / П. А. Чекмарёв // Агрехимический вестник. – 2011. – № 1. – С. 2-5.

3. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области: Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области, 2016. – С. 89-96.

4. Кутузова, А. А. Эффективность реконструкции разновозрастных залежей в пашню / А. А. Кутузова, И. В. Степанищев, Т. В. Леонидова // Кормопроизводство. – 2016. – № 5. – С. 8-11.
5. Анциферова, О. А. Почвы Калининградской области: учебник / О. А. Анциферова. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. – 240 с.
6. Анциферова, О. А. Динамика растительности и свойств почв на молодых залежах Тамбовской равнины и Замландского полуострова: моногр. / О. А. Анциферова. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2005. – 135 с.
7. James, P. Guide to grasses of California / P. James, Jr. Smith. – Oakland, California: University of California Press, 2014. – 437 с.
8. Бедарева, О. М. Инвентаризация и оценка урожайности кормовых угодий северо-восточной части Гурьевского района Калининградской области / О. М. Бедарева, Л. С. Мурачёва, Т. Н. Троян // Известия Калининградского государственного университета. – 2016. - № 43. – С. 186-195.
9. Культуртехническое состояние природных кормовых угодий и перспективы их оптимизации / О. М. Бедарева [и др.] // Известия Калининградского государственного университета. – 2017. - № 45. – С. 221-235.
10. Chmolowska, D. Soil physicochemical properties and floristic composition of two ecosystems differing in plant diversity: fallows and meadows / D. Chmolowska, M. Kozak, R. Laskowski // Plant and Soil. – 2016. – May. – С. 317-329.
11. Ооржак, А. В. Особенности залежной сукцессии в Туве / А. В. Ооржак, Б. Б. Намзалов, Н. Г. Дубровский // Вестник Бурятского государственного университета. – Серия 2. – 2005. – № 7. – С. 200-205.
12. Ходячих, И. Н. Сукцессионные процессы на залежах степной зоны Южного Урала: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01 / Ходячих Ирина Николаевна; Оренбург. гос. пед. ун-т. - Оренбург, 2012. – 21 с.
13. Продуктивность и деструкция растительного опада в залежных сообществах Тывы / А. В. Ооржак [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. – 2007. – № 3. - С. 184-188.
14. Rosenzweig, Steven T. Changes in soil properties, microbial biomass, and fluxes of C and N in soil following post-agricultural grassland restoration / Steven T. Rosenzweig, Michael A. Carsona, SaraG. Baerc, John M. Blaira // Applied Soil Ecology. – 2016. – April. – С. 186-194.
15. Абаимов, В. Ф. Характеристика разновозрастных залежей южной зоны Оренбургской области / В. Ф. Абаимов, Н. В. Ледовский, И. Н. Ходячих // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1 (29). – С. 204 – 206.
16. Абаимов, В. Ф. Флористический анализ разновозрастных залежей / В. Ф. Абаимов, И. Н. Ходячих, Н. В. Ледовский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (31). – С. 301 – 302.
17. Ходячих, И. Н. Обилие и локализация редких и исчезающих видов растений на кормовых угодьях и разновозрастных залежах сухостепной зоны Южного Урала / И. Н. Ходячих // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (32). – С. 37 – 39.

REFERENCES

1. Kashtanov N. I., Sizov O. A. Problemy vosstanovleniya ugodij, vybyvshih iz sel'skohozhajstvennogo ispol'zovaniya [The problem of restoring lands retired from agricultural use]. *Jekonomika sel'skogo hozhajstva Rossii*, 2008, no.11, pp. 174-183.
2. Chekmarjov P. V. O hode podgotovki k provedeniju vesenne-polevyh rabot v 2011 g. [On the progress of preparations for the spring field work in 2011]. *Agrohimicheskij vestnik*, 2008, no.1, pp. 2-5.
3. Gosudarstvennyj doklad ob jekologicheskoj obstanovke v Kaliningradskoj oblasti: Ministerstvo prirodnyh resursov i jekologii Kaliningradskoj oblasti [State report on environmental situation in the Kaliningrad region: Ministry of natural resources and environment of the Kaliningrad region], 2016, pp. 89-96.
4. Kutuzova A. A., Stepanishhev I. V., Leonidova T. V. Jeffektivnost' rekonstrukcii raznovozrastnyh zalezhej v pashnju [The effectiveness of reconstruction of uneven fallows into arable land]. *Kormoproizvodstvo*, 2016, no.5, pp. 8-11.
5. Anciferova O. A. *Pochvy Kaliningradskoj oblasti: uchebnik* [The soil of the Kaliningrad region: student's book]. Kaliningrad, FGOU VPO «KGTU», 2010, 240 p.
6. Anciferova O. A. *Dinamika rastitel'nosti i svojstv pochv na molodyh zalezhah Tambovskoj ravniny i Zamlandskogo poluostrova* [Vegetation dynamics and soil properties in young fallow lands of the Tambov plain and Sambia Peninsula]. Kaliningrad, KGTU, 2005, 135 p.
7. James P., Smith. Jr. *Guide to grasses of California*, Oakland, California, University of California Press, 2014, 437 p.
8. Bedareva O. M., Muracheva L. S., Troyan T. N. Inventarizatsiya i otsenka urozhaynosti kormovykh ugodiy severo-vostochnoy chasti Gur'evskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Inventory and assessment of productivity of grassland in the North-Eastern part of the Gurievsk district of the Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU*, 2016, no. 43. pp.186-195.
9. Bedareva O. M., Troyan T. N., Muracheva L. S., Fedyunina O. P., Gorshinina G. V., Volkova I. A. Kul'turtekhnicheskoe sostoyanie prirodnykh kormovykh ugodiy i perspektivy ikh optimizatsii [Crop-engineering status of the natural grassland and prospects for their optimization]. *Izvestiya KGTU*, 2017. no. 45. pp.221-235.
10. Chmolowska D., Kozak M., Laskowski R. Soil physicochemical properties and floristic composition of two ecosystems differing in plant diversity: fallows and meadows. *Plant and Soil*, 2016, may, pp. 317-329.
11. Oorzhak A. V., Namzalov B. B., Dubrovskij N. G. Osobennosti zalezhnoj sukcesii v Tuve [Features of fallow succession in Tuva]. *Vestnik Burjatskogo universiteta*, 2005, no. 7, iss. 2, pp. 200-205.
12. Khodyachikh I. N. *SuktseSIONnye protsessy na zalezhakh stepnoy zony Yuzhnogo Urala. Avtoreferat dis. kand. biol. nauk* [Successional processes on fallow lands in the steppe zone of the southern Urals. Extended abstract of PhD dissertation]. Orenburg, 2012, p. 21.
13. Oorzhak A. V., Dubrovskij N. G., Dambaev V. B., Namzalov B. B. Produktivnost' i destrukcija rastitel'nogo opada v zalezhnyh soobshhestvah Tyvy [Productivity and destruction of plant litter in the fallow communities of Tyva]. *Vestnik Burjatskogo gosuniversiteta*, 2007, no.3, pp.184-188.

14. Rosenzweig Steven T., Carsona Michael A., Sara G. Baerc, Blaira John M. Changes in soil properties, microbial biomass, and fluxes of C and N in soil following post-agricultural grassland restoration. *Applied Soil Ecology*, 2016, April, pp. 186-194.

15. Abaimov V. F., Ledovskij N. V., Hodjachih I. N. Harakteristika raznovozrastnyh zalezhej juzhnoj zony Orenburgskoj oblasti [Characteristics of the different-age fallow lands of the southern zone of the Orenburg region]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 1 (29), pp. 204-206.

16. Abaimov V. F., Hodjachih I. N., Ledovskij N. V. Floristicheskiy analiz raznovozrastnyh zalezhej [Floristic analysis of different-age fallow lands]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 3 (31), pp. 301-302.

17. Hodjachih I. N. Obilie i lokalizacija redkih i ischezajushhih vidov rastenij na kormovyh ugod'jah i raznovozrastnyh zalezhah suhostepnoj zony Juzhnogo Urala [Abundance and localization of rare and endangered plant species on fodder lands and different-age deposits of the dry steppe zone of the Southern Urals]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (32), pp. 37-39.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Bedareva Olga Michajlovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science; Professor; Head of the Department of agropedology and agroecology; E-mail: olgabedareva@mail.ru

Троян Татьяна Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент; Email: p-tanik@mail.ru

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

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

Murachyova Lyubov Semenovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: muracheva.l@yandex.ru

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Anciferova Olga Alexeevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

Федюнина Оксана Павловна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Агрочвоведение и агроэкология»

Fedunina Oksana Pavlovna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of agropedology and agroecology

Горшнина Галина Владимировна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Агрочвоведение и агроэкология»

Gorshinina Galina Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of agropedology and agroecology

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 536.22

КОРРЕЛЯЦИЯ ВЯЗКОСТИ ПРОПИЛОВОГО СПИРТА
КАК ПРЕДСТАВИТЕЛЯ ТЕХНИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ
РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 190 – 700 К
И ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 МПА

И. С. Александров, А. А. Герасимов

CORRELATION OF VISCOSITY OF PROPYL ALCOHOL AS A
REPRESENTATIVE OF TECHNICALLY IMPORTANT ORGANIC WORKING
SUBSTANCES WITHIN A TEMPERATURE RANGE FROM 190 K TO 700 K
WITH PRESSURES UP TO 100 MPA

I. S. Alexandrov, A. A. Gerasimov

Произведен анализ опубликованных экспериментальных данных о коэффициенте вязкости технически важного вещества – 1-пропанола (пропилового спирта). По результатам проведенного анализа из них были отобраны наиболее надежные, согласующиеся между собой, пригодные для построения корреляционного уравнения вязкости 1-пропанола. Основу обрабатываемого массива экспериментальных данных составили результаты исследования вязкости, выполненного отечественными авторами в советские годы. По итогам численной оптимизационной процедуры получено новое уравнение для расчета коэффициента динамической вязкости пропилового спирта, применимое в температурном диапазоне от 190 до 700 К и при давлениях до 100 МПа. Уравнение разрабатывалось в переменных «температура – плотность». Для расчета плотности при заданных температуре и давлении использовалось фундаментальное уравнение состояния 1-пропанола, полученное зарубежными авторами. При определении коэффициентов и степеней уравнения также производилась оптимизация формы вклада, описывающего вязкость плотного флюида, для чего использовался метод случайного поиска. В ходе указанной оптимизационной процедуры проводился анализ значимости каждого члена уравнения. В процессе разработки уравнения также контролировался ход различных изолиний посредством включения ограничений в минимизируемый функционал. В статье представлены результаты сравнения расчетных значений вязкости, полученных по новому уравнению, с имеющимися экспериментальными данными. На основе этого уравнения рассчитана диаграмма состояния, отражающая температурную зависимость вязкости, которая позволяет сделать вывод о его хороших экстраполяционных возможностях. Разработанное уравнение корректно воспроизводит поверхность состояния и позволяет рассчитывать указанный коэффициент переноса с погрешностью, близкой к погрешности экспериментального исследования. В частности, средняя относительная погрешность описания вязкости новым уравнением не превышает 2%. В указанном диапазоне параметров уравнение получено впервые.

пропанол, температура, плотность, давление, вязкость

Literature data on the viscosity coefficient of technically important substance – 1-propanol (propylalcohol) are collected and critically analyzed. The most reliable data suitable for joint fitting are chosen. The basis of the processed array of experimental data was the results of the study of viscosity performed by domestic authors in the Soviet years. On the basis of reliable experimental data, an equation was developed for calculating the coefficient of dynamic viscosity of propyl alcohol, applicable in the temperature range from 190 K to 700 K and at pressures up to 100 MPa. The equation was being developed in the variables "temperature-density". To calculate the density at a given temperature and pressure, a fundamental equation of 1-propanol state obtained by foreign authors was used. In determining coefficients and degrees of the equation, the shape of the contribution describing the viscosity of a dense fluid was also optimized. To do this, we used the method of a random search with a return at an unsuccessful step with the significance analysis of each term of the equation. In the process of developing the equation, the course of various isolines was also controlled by means of including constraints in the minimized functional. The article presents results of the comparison with the available experimental data, as well as a diagram reflecting the temperature dependence of the viscosity, calculated on the basis of the obtained equation and allowing us to conclude that the extrapolation possibilities of the proposed equation are good. The developed equation correctly reproduces the surface of the state and allows us to calculate the indicated transport coefficient with an error close to the error of the experimental study. In particular, the average relative error in the description of viscosity by the new equation does not exceed 2%. In the indicated range of parameters, the equation was obtained for the first time.

propyl alcohol, temperature, density, pressure, viscosity

ВВЕДЕНИЕ

Пропиловый спирт (1-пропанол) является веществом технически важным, которое широко используется в промышленности. 1-пропанол применяют в качестве добавки (косольвент) в сверхкритические растворители для повышения эффективности сверхкритической флюидной технологии. Кроме того, данное вещество широко используется в строительстве, так как уменьшает водопотребность бетона и цементных смесей, увеличивает морозостойкость, плотность материалов. Диапазон рабочих параметров достаточно широк, он включает жидкую и газовую фазы, а также сверхкритическую область. Использование спиртов в промышленности делает их важными веществами. Необходима подробная информация о их теплофизических свойствах. Наряду с этим, сведения о таких свойствах чистых веществ и их растворов вызывают большой научный интерес. Основным источником данных о свойствах веществ в широком диапазоне параметров состояния является эксперимент. Однако восполнить дефицит информации о теплофизических свойствах спиртов на основе только опытных данных невозможно по причине ограниченности экспериментальных исследований, требующих серьезных трудовых и материальных затрат. Выходом из данной ситуации может стать развитие новых научных направлений, нацеленных на создание универсальных прогнозных методов расчета указанных свойств. Одним из путей решения проблемы

недостатка экспериментальных данных является разработка надежных уравнений, которые, с одной стороны, физически правильно воспроизводят поверхность состояния, а с другой – дают возможность рассчитывать теплофизические свойства с точностью, не превышающей погрешность эксперимента. В данной статье представлено корреляционное уравнение для расчета вязкости пропилового спирта – характерного представителя одноатомных спиртов, являющегося технически важным органическим рабочим веществом.

ВЯЗКОСТЬ ПРОПИЛОВОГО СПИРТА

Основываясь на критически оцененном массиве экспериментальных данных различных авторов (в основном [1]), получено корреляционное уравнение для коэффициента динамической вязкости, позволяющие описывать вязкость пропилового спирта в температурном диапазоне 190 - 700 К в жидкой и газовой фазах и при давлениях до 100 МПа. В [1] вязкость 1-пропанола исследована в диапазоне температур от 323,15 до 553,15 К и до давления 49,4 МПа. Кроме того, также использовались экспериментальные данные зарубежных авторов, приведенные в табл. 3.

Форма корреляционного уравнения была принята по [2] и имеет вид

$$\eta(\rho, T) = \eta^0(T) + \eta^r(\delta, \tau) \quad (1)$$

где $\eta^0(T)$ – вязкость разряженного газа; $\eta^r(\delta, \tau)$ – избыточная вязкость плотного флюида.

Первое слагаемое уравнения (1) $\eta^0(T)$ определяется по следующим зависимостям:

$$\eta^0(T) = \frac{0,0266958 \cdot (MT)^{1/2}}{\sigma^2 S_{\eta}^*(T^*)}; \quad (2)$$

$$\ln S_{\eta}^* = \sum_{i=0}^2 a_i (\ln T^*)^i, \quad (3)$$

где η^0 – вязкость, мкПа·с; M – молекулярная масса, кг/кмоль; T – абсолютная температура, К; σ – диаметр жестких сфер для потенциала Леннарда – Джонса, нм; ε/k_B – энергетический параметр для потенциала Леннарда – Джонса, К; S_{η}^* – приведенный интеграл столкновений, описываемый уравнением (3); T^* – приведенная безразмерная температура $T^* = k_B T / \varepsilon$.

Таблица 1. Параметры уравнений (2) и (3) для расчета коэффициента динамической вязкости разряженного газа

Table1. Parameters of the equations (2) and (3) for calculating the viscosity of dilute gas

a_0	a_1	σ (нм)	ε/k_B (К)
0,46000996	-0,51018447	0,4549	576,7

Вязкость плотного флюида аппроксимирована уравнением

$$\eta^r(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^n N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{l_i}), \quad (4)$$

где $\tau = T_c/T$ – приведенная безразмерная температура; $\delta = \rho/\rho_c$ – приведенная безразмерная плотность (в качестве параметров приведения использованы критические константы для 1-пропанола, $T_c=536,76$ К и $\rho_c=4,535$ моль/л).

Таблица 2. Коэффициенты и показатели степени уравнения (4)

Table 2. Coefficients and exponents of the equation (4)

i	N_i	t_i	d_i	l_i
1	$-0,292386625134 \cdot 10^3$	5,6256	3	0
2	$0,328811430885 \cdot 10^3$	5,5364	3	0
3	$0,138773123610 \cdot 10^1$	10,0205	4	1
4	$0,395965642425 \cdot 10^1$	0,3502	7	1
5	$-0,386361036147 \cdot 10^1$	3,3257	8	1
6	$-0,528280662366 \cdot 10^2$	9,8906	9	2
7	$-0,138336153931 \cdot 10^3$	8,3702	7	2
8	$0,140516239579 \cdot 10^3$	10,0702	8	2

Определение коэффициентов и степеней уравнения избыточной вязкости плотного флюида (4), а также коэффициентов приведенного эффективного интеграла столкновений (3) производилось стохастическим алгоритмом, в основе которого лежит метод случайного поиска. Такой метод применялся Леммоном с соавторами в [2] при получении уравнения для коэффициентов переноса воздуха. В качестве целевой функции при этом использовался аддитивный критерий – минимизируемый квадратичный функционал, получаемый путем сложения выходных параметров, приведенных к безразмерным слагаемым. В квадратичный функционал входят слагаемые, отвечающие за точность аппроксимации экспериментальных значений, а также различные ограничения, включаемые в функционал в виде неравенств. Указанный функционал представлен следующей зависимостью:

$$S = \sum W_{\eta} \left(\frac{\eta_{\text{экс.}} - \eta_{\text{расч.}}}{\eta_{\text{экс.}}} \right)^2 + \sum W_o F_o^2, \quad (5)$$

где W – вес опытной точки, назначаемый разработчиком; W_o – вес ограничений; F_o – численное значение производной вдоль какой-либо изолинии, вычисляемое на последних итерациях; $\eta_{\text{экс.}}, \eta_{\text{расч.}}$ – соответственно, экспериментальное и расчетное (по уравнению (1)) значения вязкости.

Входящие в соотношение (5) ограничения позволяют удерживать знаки производных вязкости вдоль различных изолиний, для чего численно рассчитывается производная на последних итерациях. После этого полученное значение производной в безразмерном виде с соответствующим весовым коэффициентом включается в квадратичный функционал. Указанная процедура введения ограни-

чений в функционал позволяет контролировать поведение различных изолиний, обеспечивая требуемую форму поверхности состояния и расширяя диапазон, в котором можно экстраполировать уравнение за пределы экспериментально исследованной области, что видно на рис. 1, где показана зависимость вязкости от температуры для 1-пропанола, рассчитанная по уравнению (1). Так как представленное уравнение разрабатывалось в переменных «плотность-температура», то для расчета плотности применялось фундаментальное уравнение состояния 1-пропанола, приведенное в [3].

Результаты описания экспериментальных данных уравнением (1) приведены в табл. 3, а характер отклонений – на рис. 2. Как видно из табл. 3, погрешность описания экспериментальных данных уравнением (1) варьируется от 0,8 до 3,0 %. Средняя относительная погрешность по всему массиву составляет 1,8 %.

Следует отметить, что авторы данной статьи ограничили нижний предел применимости предлагаемого уравнения температурой 190 К, хотя температура тройной точки для 1-пропанола несколько ниже и составляет 148,8 К. Необходимость такого ограничения была вызвана аномальным поведением вязкости 1-пропанола вблизи тройной точки, где в узком диапазоне температур (~30 К) вязкость возрастает примерно в 15 раз. Возможно, такое поведение вязкости вблизи тройной точки связано с увеличением энергии активации вязкого течения. Однако для решения проблемы расширения диапазона применения уравнения (1) требуются дополнительные исследования.

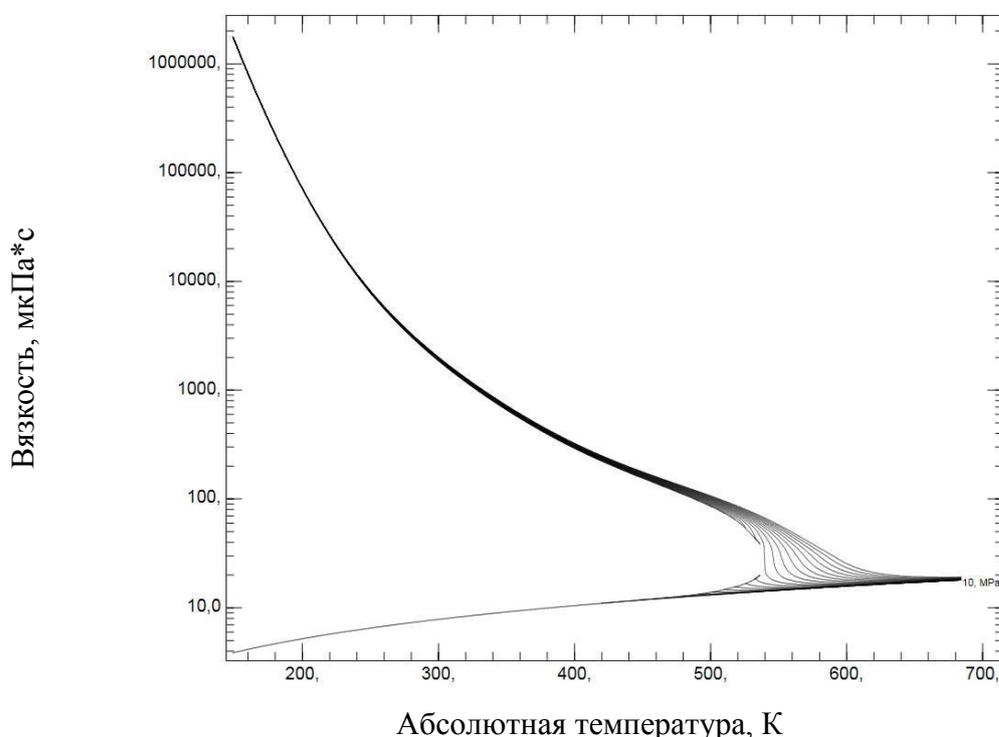


Рис. 1. Зависимость вязкости от температуры для 1-пропанола
 Fig. 1. "Viscosity-temperature" dependence for propyl alcohol

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы получено уравнение, описывающее имеющиеся экспериментальные данные о вязкости 1-пропанола с погрешностью, близкой к погрешности экспериментального исследования. Представленное уравнение позволяет с достаточно высокой точностью производить расчеты вязкости 1-пропанола и применимо в температурном диапазоне от 190 до 700 К и при давлениях до 100 МПа. Средняя относительная погрешность расчета вязкости новым уравнением не превышает 2%.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-08-00023-а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голубев, И. Ф. Физико-химические исследования / И. Ф. Голубев // Труды ГИАП. -1969. - № 24. – С. 5-15.
2. Lemmon, E. W. Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air / E. W. Lemmon, R. T. Jacobsen // Int. J. Thermophys. – 2004. – V. 25, № 1. – P. 21-69.
3. Lemmon E. W., Huber, M. L., McLinden, M. O. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.0, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, 2010.
4. Thorpe T. E. On the relations between the viscosity (internal friction) of liquids and their chemical nature / T. E. Thorpe, J. W. Rodger // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A.- 1894.- Vol. 185.- P. 397-710.
5. Mizushima S. The anomalous dispersion and adsorption of electric waves / S. Mizushima // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1926.- Vol. 1. – P. 143-145.
6. Titani T. The viscosity of vapours of organic compounds / T. Titani // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1933. – Vol. 8. – P. 255-276.
7. Халилов, X. М. Вязкость жидкостей и насыщенных паров при высоких температурах и давлениях / X. М. Халилов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1939. – Т. 9. – № 3 – С. 335-345.
8. Леднева Т. М. Исследование вязкости нормальных одноатомных спиртов / Т. М. Леднева // Вестник Московского университета. – 1956. – Т. 2. – С. 49-60.
9. Голубев, И. Ф. Вязкость газов и газовых смесей / И. Ф. Голубев. - Москва: Изд-во ГИФМЛ, 1959. - 375 с.
10. Комаренко, В. Г. Вязкость и плотность нормальных одноатомных спиртов при низких температурах / В. Г. Комаренко, В. Г. Манжелей, А. В. Радциг // Украинский физический журнал. – 1967. – Т. 12. – С. 676-685.
11. Tanaka Y. Viscosity of (water + alcohol) mixtures under high pressure / Y. Tanaka, Y. Matsuda, H. Fujiwara, H. Kubota, T. Makita //Int. J. Thermophys. – 1987. - Vol. 8. - P. 147-163.
12. Zhang J.; Liu, H. Journal of Chemical Industry and Engineering (China). - 1991. – Vol. 42. –P. 269-277.

13. Assael M. J. Measurements of the viscosity of alcohols in the temperature range 290–340 K at pressures up to 30 MPa / M.J. Assael, S.K. Polimatidou // *Int. J. Thermophys.* - 1994. – Vol. 15. – P. 95-107.
14. Papaioannou D. Excess dynamic viscosity and excess volume of N-butylamine + 1-alkanol mixtures at moderately high pressures / D. Papaioannou, M. Bridakis, C. G. Panayiotou // *J. Chem. Eng. Data.* – 1993. – Vol. 38. – P. 370-378.
15. Papaioannou D. Viscosity of Alkanol + Alkane Mixtures at Moderately High Pressures / D. Papaioannou, C. Panayiotou // *J. Chem. Eng. Data.* – 1994. – Vol. 39. – P. 463-466.
16. Yang C. Density and Viscosity of Binary Mixtures of Diethyl Carbonate with Alcohols at (293.15 to 363.15) K and Predictive Results by UNIFAC-VISCO Group Contribution Method / C. Yang, H. Lai, Z. Liu, P. Ma // *J. Chem. Eng. Data.* – 2006. – Vol. 51. – P. 1345-1351.
17. Baylaucq A. Dynamic Viscosity of the Binary System 1-Propanol + Toluene as a Function of Temperature and Pressure / A. Baylaucq, G. Watson, C. Zeberg-Mikkelsen, J.-P. Bazile, C. Boned // *J. Chem. Eng. Data.* – 2009. – Vol. 54. – P. 2715-2721.
18. Bajic D. M. Experimental measurements and modelling of volumetric properties, refractive index and viscosity of selected binary systems with butyl lactate at 288.15-323.15 K and atmospheric pressure. New UNIFAC-VISCO interaction parameters / D.M. Bajic, E.M. Zivkovic, S.P. Serbanovic, M.L. Kijevcanin // *Thermochim. Acta.* – 2013. – Vol. 562. – P. 42-55.

REFERENCES

1. Golubev I. F. Fiziko-himicheskie issledovaniya [Physical and chemical studies]. *Gosudarstvennyj institut azotnoj promyshlennosti (GIAP)*, 1969, no. 24, pp. 5-15.
2. Lemmon E. W., Jacobsen R.T. Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air. *Int. J. Thermophys.*, 2004, vol. 25, no. 1, pp. 21-69.
3. Lemmon E. W., Huber M. L., McLinden M. O. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.0. *National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg*, 2010.
4. Thorpe T. E., Rodger J. W. On the relations between the viscosity (internal friction) of liquids and their chemical nature. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 1894, vol. 185, pp. 397-710.
5. Mizushima S. The anomalous dispersion and adsorption of electric waves. *Chem. Soc. Jpn.*, 1926, vol. 1, pp. 143-145.
6. Titani T. The viscosity of vapours of organic compounds. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1933, vol. 8, pp. 255-276.
7. Halilov H. M. Vjazkost' zhidkostej i nasyshennyh parov pri vysokih temperaturah i davlenijah [Viscosity of liquids and saturated vapors at high temperatures and pressures]. *Zhurnal jeksperimental'noj i teoreticheskoj fiziki*, 1939, vol. 9, pp. 335-345.
8. Ledneva T. M. Issledovanie vjazkosti normal'nyh odnoatomnyh spirtov [Study of the viscosity of normal monoatomic alcohols]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 1956, vol. 2, pp. 49-60.

9. Golubev I. F. *Vjazkost' gazov i gazovyh smesej* [Viscosity of gases and gas mixtures]. Moscow, GIFML, 1959, 375 p.
10. Komarenko V. G., Manzhelij V. G., Radcig A.V. *Vjazkost' i plotnost' normal'nyh odnoatomnyh spirtov pri nizkih temperaturah* [Viscosity and density of normal monoatomic alcohols at low temperatures]. *Ukrainskij fizicheskij zhurnal*, 1967, vol. 12, pp. 676-685.
11. Tanaka Y., Matsuda Y., Fujiwara H., Kubota H., Makita T. Viscosity of (water + alcohol) mixtures under high pressure. *Int. J. Thermophys.*, 1987, vol. 8, pp. 147-163.
12. Zhang J., Liu H. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*, 1991, vol. 42, pp. 269-277.
13. Assael M. J., Polimatidou S. K. Measurements of the viscosity of alcohols in the temperature range 290–340 K at pressures up to 30 MPa. *Int. J. Thermophys.*, 1994, vol. 15, pp. 95-107.
14. Papaioannou D., Bridakis M., Panayiotou C. G. Excess dynamic viscosity and excess volume of N-butylamine + 1-alkanol mixtures at moderately high pressures. *J. Chem. Eng. Data.*, 1993, vol. 38, pp. 370-378.
15. Papaioannou D., Panayiotou C. Viscosity of Alkanol + Alkane Mixtures at Moderately High Pressures. *J. Chem. Eng. Data.*, 1994, vol. 39, pp. 463-466.
16. Yang C., Lai H., Liu Z., Ma P. Density and Viscosity of Binary Mixtures of Diethyl Carbonate with Alcohols at (293.15 to 363.15) K and Predictive Results by UNIFAC-VISCO Group Contribution Method. *J. Chem. Eng. Data.*, 2006, vol. 51, pp. 1345-1351.
17. Baylaucq A., Watson G., Zeberg-Mikkelsen C., Bazile J.-P., Boned C. Dynamic Viscosity of the Binary System 1-Propanol + Toluene as a Function of Temperature and Pressure. *J. Chem. Eng. Data.*, 2009, vol. 54, pp. 2715-2721.
18. Bajic D. M., Zivkovic E.M., Serbanovic S.P., Kijevcanin M.L. Experimental measurements and modelling of volumetric properties, refractive index and viscosity of selected binary systems with butyl lactate at 288.15-323.15 K and atmospheric pressure. New UNIFAC-VISCO interaction parameters. *Thermochim. Acta.*, 2013, vol. 562, pp. 42-55.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Игорь Станиславович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры “Теплогасоснабжение и вентиляция”; E-mail: alexandrov_kgrd@mail.ru

Alexandrov Igor Stanislavovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, associate professor of the Department of heat and gas supply and ventilation; E-mail: alexandrov_kgrd@mail.ru

Герасимов Анатолий Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой “Теплогасоснабжение и вентиляция”; E-mail: aager_kstu@mail.ru

Gerasimov Anatoly Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of heat and gas supply and ventilation”; E-mail: aager_kstu@mail.ru

УДК 621.3:629.564

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ПИОНЕР-М»

Е. А. Демкин, Б. Л. Геллер

DEVELOPMENT OF ELECTRICAL EQUIPMENT
FOR RESEARCH VESSEL «PIONEER-M»

E. A. Demkin, B. L. Geller

Данная работа выполнена в рамках конкурса «Я буду строить корабли», организованного Министерством образования и науки Российской Федерации и Объединенной судостроительной корпорацией. Основанием явилось техническое задание на разработку эскизного проекта научно-исследовательского судна «Пионер-М». Судно катамаранного типа предназначено для исследований водной среды и морского дна и проведения водолазных работ. На судне устанавливаются мобильные научно-исследовательские лаборатории контейнерного типа. В качестве движителей применяются две винторулевые колонки и два подруливающих устройства. Для обеспечения потребителей электроэнергией определена необходимость использования на судне двух сетей: сеть переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц и сеть постоянного тока напряжением 24 В. Произведен выбор основных источников электрической энергии, разработана схема распределения электрической энергии. Определена целесообразность установки на судне солнечных панелей, осуществлен взаимосвязанный выбор солнечных панелей, аккумуляторов и зарядных устройств. Использование солнечных панелей типа 300 Моно позволяет сэкономить 560 кВт·ч за рейс. Аккумуляторы GEL напряжением 2 В и емкостью 1500 А·ч характеризуются большим числом рабочих циклов (1500-4500) и имеют низкую чувствительность к режимам заряда. Автоматизация электростанции осуществляется при помощи контроллеров РРМ300 фирмы DEIF, позволяющих обеспечить наиболее эффективное использование источников электроэнергии и экономию топлива. Для динамического позиционирования судна выбрана система NavDP 4000, которая рассчитывает требования к упорам и угловому моменту и распределяет упоры между движителями, обеспечивая удержание судна в точке или на курсе.

разработка, катамаран, электрооборудование, генераторы, солнечные панели, динамическое позиционирование, автоматизация

The work was carried out in the framework of the contest «I'm going to build ships», organized by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and the United Shipbuilding Corporation. The basis for the development was the technical task for the development of the outline design of the research vessel Pioneer-M. The vessel of the catamaran type is intended for studying the aquatic environment and the seabed and diving operations. There are mobile research laboratories of the contain-

er type installed on the vessel. Two propellers and two thrusters are used as propulsors. In order to provide electric power, the need to use two networks on the ship has been determined: an alternating current network with a voltage of 380 V, 50 Hz, and a DC network with a voltage of 24 V. The main sources of electrical energy have been selected. The scheme of electric energy distribution has been developed. The expediency of installation of solar panels on the ship has been determined; the interconnected choice of solar panels, batteries and chargers has been made. Using solar panels such as 300 Mono allows you to save 560 kWh per voyage. GEL batteries with a voltage of 2 V and a capacity of 1500 A · h are characterized by a large number of operating cycles (1500-4500) and have a low sensitivity to charge conditions. Automation of the power plant is carried out with the help of the PDM300 controllers from DEIF, which make it possible to ensure the most efficient use of electric power sources and fuel economy. To implement the dynamic positioning of the vessel, the NavDP4000 system is selected, which calculates the requirements for stops and angular momentum and distributes the abutments between ship propulsors, ensuring retention of the vessel at a point or on course.

development, catamaran, electrical equipment, generators, solar panels, dynamic positioning, automation

ВВЕДЕНИЕ

В 2016 г. проводился всероссийский конкурс «Я буду строить корабли», организованный Министерством образования и науки Российской Федерации и Объединенной судостроительной корпорацией. В рамках этого конкурса в Калининградском государственном техническом университете была собрана команда, разработавшая концептуальный проект, представленный в Москве. Проект занял первое место. Далее в г. Севастополе собралась объединенная студенческая проектная группа «Пионер-М», состоящая из студентов различных учебных заведений России, работа в которой была организована структурно, как в конструкторско-проектном бюро. Все участники разделились на шесть секторов (общего проектирования, конструкции корпуса, судовых энергетических установок, электротехнический, закупок, Aveva). Каждый сектор находился под руководством начальника сектора, а они, в свою очередь, под эгидой главного конструктора. Основанием для разработки являлось техническое задание на разработку эскизного проекта научно-исследовательского судна «Пионер-М».

Исходные требования к научно-исследовательскому судну:

- класс судна – морской, смешанного плавания класса «М-СП» Российского Речного Регистра;
- период эксплуатации – безледовый;
- автономность – 7 сут;
- численность спецперсонала – 6 чел.;
- класс автоматизации соответствует эксплуатации без постоянного присутствия персонала в машинных помещениях;
- система динамического позиционирования должна соответствовать классу DYNPOS1 PC;
- нормативная база – Правила Российского Речного Регистра и законодательная база Российской Федерации.

Архитектурно-конструктивный тип – стальное двухвинтовое судно катамаранного типа.

Назначение судна – проведение исследований водной среды, морского дна и водолазных работ. Для обеспечения исследовательской деятельности на судне устанавливаются сменные мобильные морские научно-исследовательские лаборатории контейнерного типа. Лаборатории разрабатываются на базе 20-футового контейнера. Предусмотрена система установки и энергообеспечения лабораторий. Смена лабораторий производится в порту при помощи береговых устройств.

Район плавания судна – смешанное плавание река-море при волнении не более 5 баллов, высоте волны до 3,5 м и удалении от портов-убежищ не более 50 морских миль.

Судно эксплуатируется без вахты в машинном отделении.

В эксплуатации судна предусматривается использование четырех модульных научных лабораторий контейнерного типа:

- контейнер 1 «Океанография, гидробиология и гидрохимия»;
- контейнер 2 «Геоморфология и гидроакустика»;
- контейнер 3 «Водолазное оборудование»;
- контейнер 4 «Роботизированный исследовательский комплекс».

Основные характеристики судна сведены в табл. 1.

Таблица 1. Главные размерения и основные характеристики судна
Table 1. Main dimensions and main characteristics of the vessel

Длина наибольшая, м	23,85
Длина между перпендикулярами, м	22,30
Ширина одного корпуса, м	3,6
Ширина наибольшая, м	10,8
Высота борта, м	3,6
Осадка по КВЛ, м	1,55
Экипаж, чел	10
Автономность, сут	7

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ПИОНЕР-М»

Анализ потребителей показал, что на судне целесообразно иметь две сети: переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц и постоянного тока напряжением 24 В. Основные потребители сети переменного тока – два гребных электродвигателя мощностью по 200 кВт, два подруливающих устройства мощностью по 23 кВт, научно-исследовательская лаборатория мощностью 35 кВт, насосные системы, освещение, бытовые и зарядные устройства. Основные потребители сети постоянного тока – радио- и навигационное оборудование, сигнально-отличительные огни и прожекторы, якорно-швартовый шпиль, ряд насосов.

На основании расчета судовой электроэнергетической системы, выполненного по методике [1], для установки на судне в качестве основных источников электроэнергии 380 В приняты два дизель-генератора типа АДС 240 Т400 ТК производства ООО «СУЭТ» [2] второй степени автоматизации, с генераторами синхронными бесщеточного типа SINCRO SK250 250, 192/240 кВт/кВА, 3х50 Гц,

нечной энергии в электрическую) представляет собой бурно развивающуюся отрасль, которая теоретически способна покрыть весь спрос на электроэнергию [3]. Важнейшими факторами использования СП на судне являются экономия топлива и снижение воздействия на окружающую среду.

На рис. 2 представлена схема распределения постоянного тока напряжением 24 В. На шину распределительного щита 24 В питание подается через группу аккумуляторных батарей. Кроме того, распределительный щит 24 В может получать питание от распределительных щитов 220 В и 380 В переменного тока через выпрямительные агрегаты ВА1 и ВА2.

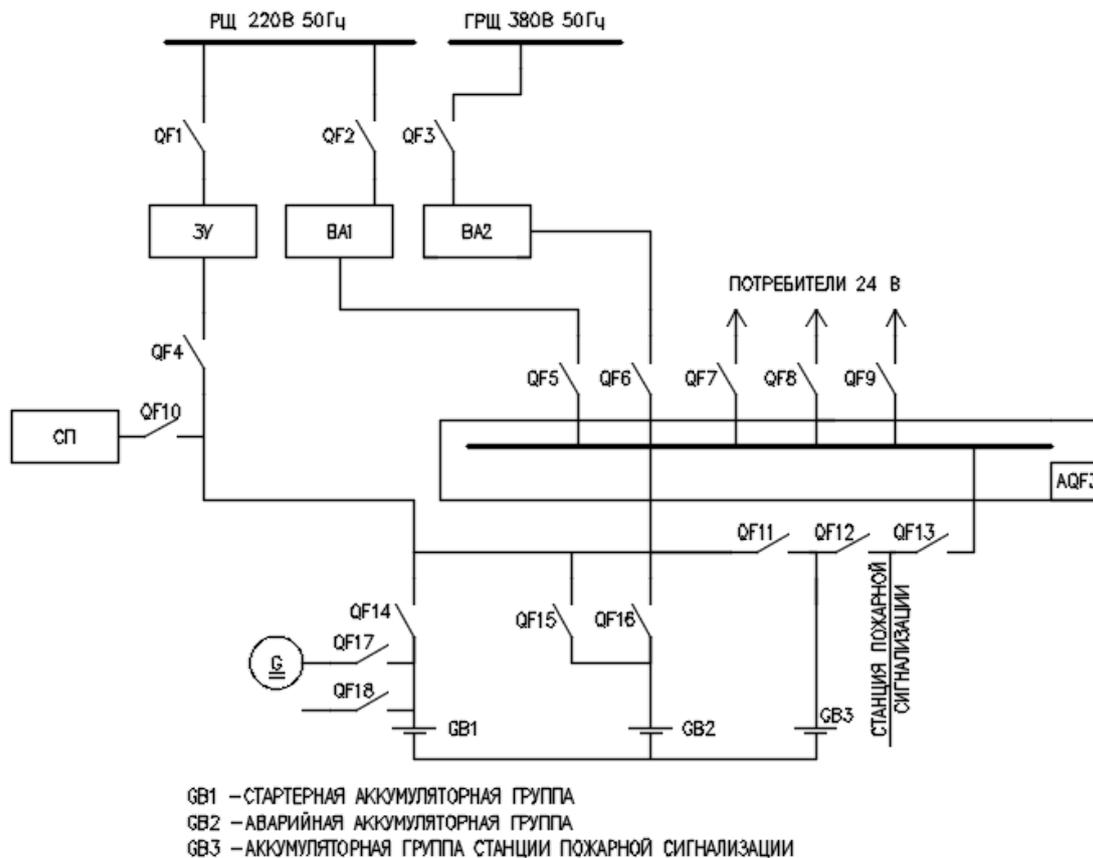


Рис. 2. Схема сети 24 В постоянного тока
 Fig. 2. Diagram of the 24 VDC network

СП размещены на крыше надстройки, поверхности контейнера лаборатории и других поверхностях, пригодных для установки. Площадь покрытия составила 145 м².

Результаты анализа и сравнения производительности панелей, а также их характеристики приведены в табл. 2. В результате анализа выбраны панели 300 Моно [4], важнейшим достоинством которых является морское исполнение.

Таблица 2. Анализ и сравнение солнечных панелей
Table 2. Analysis and comparison of the solar panels

Технические данные	МСК-15	МСК-20	МСК-60	МСК-150	МСК-200	МСК-250	300 Моно
Мощность P_{\max} , Вт	15	20	60	150	200	250	300
Ток при работе на нагрузку, А	0,92	1,3	3,55	8,58	5,98	9,22	8,3
Габаритные размеры, мм	285x425	425x425	550x810	674x148 2	805x157 5	991x165 0	1956x99 2
Цена, руб., в т. ч. НДС	2 800	2 900	5 200	11 000	14 900	18 000	22 066
Цена за кв. м, руб.	23 062	16 018	11 658	11 005	11 744	11 001	11 372
Мощность на кв. м, Вт	123,6	110,5	134,5	150,1	157,6	152,8	154,6
Цена за кВт, руб.	186,7	145,0	86,7	73,3	74,5	72,0	73,6
Вес, кг	1,9	2,7	5,5	12	17	19,5	23
Суммарный вес, кг	2269	2162	1787	1740	1942	1728	1718
Суммарная цена, тыс. руб.	3 344	2 322	1 690	1 596	1 703	1 595	1 649
Суммарная мощность, кВт	17,9	16,0	19,5	21,7	22,8	22,1	22,4

Приближенные оценки показывают, что использование СП типа 300 Моно позволяет сэкономить 560 кВт·ч за рейс. Панели имеют модульную конструкцию, объединяемую штекерными соединениями, что является плюсом в случае опционного применения. Максимальная мощность, генерируемая СП, составляет около 20 кВт.

Выбор аккумуляторных батарей осуществлялся в результате исследования различных типов аккумуляторов. Рассматривались полностью необслуживаемые, безопасные аккумуляторы типов AGM и GEL. Были выбраны аккумуляторы GEL 60 шт. напряжением 2 В и емкостью 1500 А·ч, так как они позволяют снизить затраты на их обслуживание за счет большого количества рабочих циклов (1500-4500) и имеют низкую чувствительность к режимам заряда [5]. Выбранные аккумуляторы предназначены для работы с высокими токами нагрузки, обеспечивают совместную работу с солнечными панелями, имеют возможность устанавливаться вертикально и горизонтально, ударопрочные, служат без замены в течение 20 лет и имеют массу порядка 7 т. Для сравнения: альтернативные аккумуляторные батареи служат 10 лет и имеют массу 9 т. За рейс будет проходить четыре цикла зарядки аккумуляторов, из чего следует, что за 20 лет при 44 экспедициях в год пройдет 3500 циклов разряда аккумуляторов. Аккумуляторы соединены в блоки последовательно для получения необходимого напряжения 24 В. Пять блоков аккумуляторов соединяются параллельно, в результате чего получаем аккумуляторную батарею напряжением 24 В и емкостью 7500 А·ч.

Автоматизация электростанции осуществляется при помощи контроллеров РРМ300 фирмы DEIF [6]. В контроллерах реализованы необходимые функции управления и защиты всеми элементами судовой электростанции: основными генераторными агрегатами, аварийными дизель-генераторами, вводами питания с берега, секционными выключателями и мощными потребителями. Система РРМ300 позволяет организовать надежное электроснабжение судна в различных режимах работы, с учетом нагрузки и требуемого резерва мощности на шинах, и обеспечить при этом наиболее эффективное использование имеющихся на борту источников и экономию топлива. У системы РРМ300 мультимастерная архитектура с резервированным каналом связи между контроллерами, что позволяет ее использовать на судах с динамическим позиционированием всех классов. Если контроллер, выполняющий функции мастера в сети, не отвечает, то управление автоматически передается следующему контроллеру. В них используется высокопроизводительный процессор и высокочастотная шина передачи данных. Это обеспечивает гарантированную быструю работу защит и надежность обмена информацией в системе. Контроллеры РРМ300 имеют модульную конструкцию. Модули процессора, коммуникаций, измерений, входов или выходов могут устанавливаться или заменяться в любой момент, в том числе силами экипажа. В контроллерах реализовано автоматическое распознавание вновь установленных модулей. Для отображения информации и управления в РРМ300 используется графический дисплей с удобным операторским интерфейсом, обеспечивающим интерактивную помощь оператору. Все параметры легко доступны для чтения на дисплее. Пользовательский интерфейс адаптируется согласно требованиям пользователя для простой и безопасной работы. Световые индикаторы видны с большого расстояния. Дисплей поддерживает все языки со шрифтами UTF-8. Структурная схема автоматизации электростанции представлена на рис. 3.

Для осуществления динамического позиционирования судна выбрана система NavDP 4000 [7], которая постоянно контролирует информацию, поступающую из системы управления энергетической установкой судна, такую как: нагрузка на каждый генератор и исполнительное устройство, подключение их к силовой шине и силовых шин друг к другу.

Структурная схема системы динамического позиционирования NavDP 4000 представлена на рис. 4.

В случае возникновения опасности аварийного отключения силовой системы NavDP 4000 автоматически рассчитывает новые требования к упорам и угловому моменту, исходя из ограничений по выработке электроэнергии для каждого генератора, и распределяет упоры между исполнительными устройствами судна, минимизируя эффект от падения мощности силовой установки на удержание судна в точке или на курсе.

Система производит постоянный контроль своих компонентов (программируемых логических контроллеров, компьютеров, шин и т. д.), датчиков, пропульсивного комплекса, генераторов сетей питания в режиме реального времени.

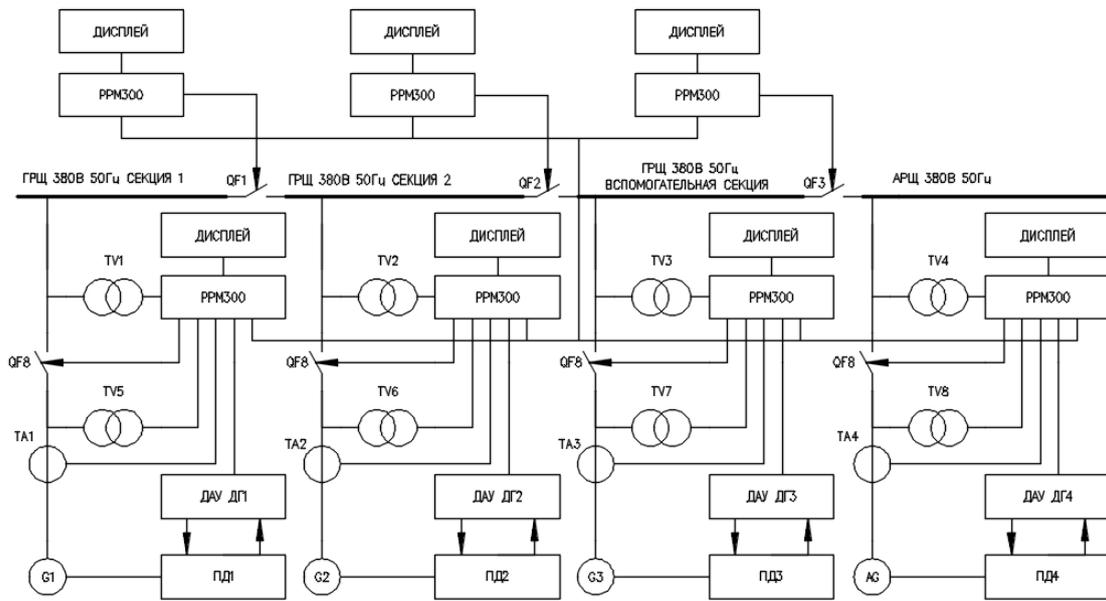


Рис. 3. Автоматизация судовой электростанции
Fig. 3. Automation of the ship power station

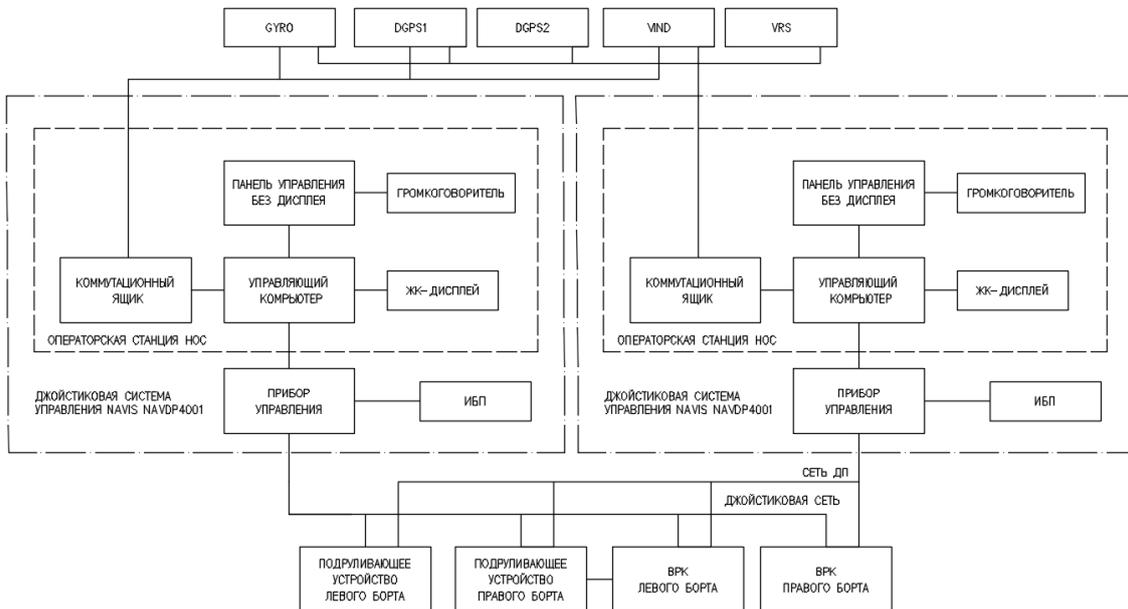


Рис. 4. Схема динамического позиционирования
Fig. 4. Dynamic positioning diagram

Для судов класса DP2, к которым относится «Пионер-М», функция АНАЛИЗ ОТКАЗОВ позволяет определить, способно ли судно удерживать позицию или курс в случае наихудших отказов, наиболее типичными из которых являются отказы двигателя, генератора и секционного разъединителя.

Система NavDP 4000 оборудована встроенным полуфункциональным автопилотом, имеющим сертификат типового одобрения классификационного общества DNV. Режим автопилота используется для управления курсом при движении судна вперед. Так как встроенный авторулевой одобрен для навигации, он может использоваться вместо отдельной конвенционной системы управления курсом судна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе разработки электрооборудования научно-исследовательского судна «Пионер-М» были выбраны основные, вспомогательные и аварийные источники электрической энергии. Разработаны схемы распределения переменного и постоянного тока. Проведен анализ и выбор солнечных панелей и аккумуляторных батарей. Выбраны системы автоматизации: управления электростанцией и динамического позиционирования судна.

В итоге эскизный проект был разработан, успешно защищен и передан АО «ЦКБ «Коралл» для разработки технического проекта с передачей его на базовый завод-строитель судна в г. Севастополе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД5Р.6168-92. Судовые электроэнергетические системы. Методы расчетов электрических расчетов нагрузок и определения необходимой мощности генераторов электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tehnokniga.com/library/rd_88/
2. Промышленное оборудование для задач электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.suet-holding.ru/>.
3. Volker Quaschnig. Understanding Renewable Energy Systems. Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2005.
4. Солнечные панели 300 Моно [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tsolar.ru/solnechnyye-paneli.
5. Аккумуляторы GEL и AGM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.victronenergy.ru/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf.
6. PPM300 – Система управления судовой электростанцией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: dvk-electro.ru/06powerStation/ppm300.html.
7. Система динамического позиционирования NavDP 4000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: navis.spb.ru/dp-systems/dp-overview/.

REFERENCES

1. RD5R.6168-92. Sudovye elektroenergeticheskie sistemy. Metody raschetov elektricheskikh raschetov nagruzok i opredeleniya neobkhodimoy moshchnosti generatorov elektrostantsiy.
2. Promyshlennoe oborudovanie dlja zadach elektrosnabzhenija. Available at: <http://www.suet-holding.ru> (Accessed 29 June 2017).
3. Volker Quaschnig. Understanding Renewable Energy Systems. Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2005.

4. Solnechnye paneli 300 Mono. Available at: <http://tsolar.ru/solnechnyye-paneli> (Accessed 29 June 2017).

5. Akkumulyatory GEL i AGM. Available at: <https://www.victronenergy.ru/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf> (Accessed 29 June 2017).

6. RRM300 – Sistema upravleniya sudovoy elektrostantsiey. Available at: <https://dvk-electro.ru/06powerStation/ppm300.html> (Accessed 29 June 2017).

7. Sistema dinamicheskogo pozitsionirovaniya NavDP 4000. Available at: <http://www.navis.spb.ru/dp-systems/dp-overview/> (Accessed 29 June 2017).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дёмкин Евгений Александрович – Калининградский государственный технический университет; студент 5-го курса; E-mail: Demkin2010milka@mail.ru

Dyomkin Evgeny Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University, fifth year student; E-mail: Demkin2010milka@mail.ru

Геллер Борис Львович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики; E-mail: geller149@yandex.ru

Geller Boris Lvovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Ship Electrical Equipment and Electrical Energy; E-mail: geller149@yandex.ru

УДК 621.431.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ
ДВИГАТЕЛЕМ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ПРИ РАБОТЕ
НА БЕНЗИНЕ И ТОПЛИВНОМ ГАЗЕ

Л. И. Ковальчук, В. Н. Соболин

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL MODELS FOR ESTIMATING
EMISSIONS OF HYDROCARBONS FROM EXHAUST GASES
WITH A SPARK-IGNITION ENGINE WHEN RUNNING ON GASOLINE
AND FUEL GAS

L. I. Kovalchuk, V. N. Sobolin

Целью исследования является разработка экспериментально-теоретических моделей, позволяющих дать сравнительную оценку выбросов токсичных углеводородов с отработавшими газами двигателем с принудительным зажиганием в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов при работе на бензине и топливном газе [1-5].

Для решения задачи были проведены испытания V-образного шестицилиндрового двигателя 6Ч^{9,1/7,3} с принудительным зажиганием, распределенной системой впрыска бензина, дополнительно оснащенного газобаллонным оборудованием четвертого поколения.

Испытания проводились без каталитического нейтрализатора токсичных выбросов с отработавшими газами по серии нагрузочных характеристик в диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя от 1400 до 2200 мин⁻¹, с шагом $\Delta n = 200$ мин⁻¹. В качестве газомоторного топлива использовался сжиженный углеводородный газ марки ПТБ, ГОСТ Р 52087-2003. Замеры выбросов углеводородов производились многокомпонентным газоанализатором «Автотест – 02.03». Отбор проб осуществлялся на срезе выпускной системы, в которую для снижения температуры отработавших газов были вмонтированы дополнительные расширители, что позволило довести время замеров на каждом режиме до значений, предусмотренных технической характеристикой газоанализатора.

Обработка результатов замеров выбросов углеводородов производилась специально разработанным методом, что позволило минимизировать влияние погрешностей исходных данных на конечные результаты расчета параметров моделей, описывающих выбросы углеводородов с отработавшими газами в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов.

Разработанные модели позволили дать сравнительную количественную оценку выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на бензине и топливном газе.

Показано на конкретном примере, что при работе двигателя на топливном газе, в зависимости от режима работы, может быть достигнуто существенное снижение выбросов углеводородов с отработавшими газами.

двигатель внутреннего сгорания, работа на бензине и топливном газе, выбросы углеводородов с отработавшими газами

The aim of the study is to develop experimental and theoretical models to give a comparative evaluation of toxic hydrocarbons emissions from exhaust gases with a spark-ignition engine in a wide range of speed and load modes on petrol and fuel gas.

To solve the problem, a V-shaped 6-cylinder engine 6Ч^{9,1/7,3} with spark ignition, distributed petrol injection system of additionally equipped with the fourth generation gas-cylinder equipment was tested.

The tests were carried out without a catalytic converter of toxic emissions with exhaust gases in a series of load characteristics in the range of engine speed from 1400 to 2200 rpm, in increments $\Delta n = 200 \text{ min}^{-1}$. As a gas engine fuel, liquefied petroleum gas of the PTB brand, GOST R 52087-2003 was used. Measurements of hydrocarbon emissions were made by the multi-component gas analyzer "Autotest-02.03". Sampling was carried out at the end of the exhaust system in which additional extensions were built in order to reduce the temperature of the exhaust gases which allowed bringing the measurement time in each mode to the values specified in the technical specification of the gas analyzer.

The processing of the results of hydrocarbon emission measurements was carried out by a specially developed method which allowed minimization of the influence of the errors of the initial data on the final results of calculating the parameters of models describing hydrocarbon emissions with exhaust gases in a wide range of speed and load regimes.

The developed models allowed us to give a comparative quantitative assessment of hydrocarbon emissions with exhaust gases when the engine runs on gasoline and fuel gas.

It is shown, by a specific example, that when the engine runs on the fuel gas depending on the operation mode, a significant reduction in hydrocarbon emissions with exhaust gases can be achieved.

internal combustion engine, operation on gasoline and fuel gas, emissions of hydrocarbons with exhaust gases

ВВЕДЕНИЕ

Углеводороды (C_nH_m) состоят из исходных или распавшихся молекул топлива и масла, которые не принимали участия в процессе сгорания. Количество различных углеводородов, входящих в эту группу токсичных веществ, превышает 200 [1, 2]. В концентрациях, где C_nH_m содержится в воздухе даже в зонах с самым интенсивным движением автотранспорта, они не приносят значительного вреда здоровью человека, однако могут вызывать реакции, ведущие к образованию соединений, вредных и при незначительной концентрации. Под воздействием солнечных лучей углеводороды могут взаимодействовать с оксидами азота, образуя биологически активные вещества, которые раздражающе действуют на глаза и органы дыхания [2].

Особое значение имеют выбросы бензола, толуола, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и в первую очередь бенз(α)пирена ($C_{20}H_{12}$). Эта группа высокотоксичных веществ образуется в результате разложения легких

и средних фракций топлива при температуре 600...700 К. Такие условия возникают во время рабочего хода в цилиндре вблизи его холодных поверхностей при недостатке кислорода. Количество ПАУ в отработавших газах тем больше, чем выше концентрация в топливе бензола. ПАУ относятся к канцерогенным веществам, они не выводятся из организма человека, а со временем накапливаются в нем, способствуя проявлению злокачественных болезней [2].

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ПРИ РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЯ НА БЕНЗИНЕ И ТОПЛИВНОМ ГАЗЕ

В процессе испытаний двигателя производились замеры следующих параметров: S – перемещение дроссельной заслонки, мм; n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ; CH – выбросы углеводородов, ppm.

В последующих расчетах использовались безразмерные параметры

$$CH_0 = \frac{CH}{CH_n}; S_0 = \frac{S}{S_n}; n_0 = \frac{n}{n_n}, \quad (1)$$

где индексом «Н» обозначены нормирующие параметры, численные значения которых приняты одинаковыми при работе двигателя на бензине и топливном газе и равными: $S_n = 24$ мм; $n_n = 2200$ мин^{-1} ; $CH_n = 145$ ppm.

Применение безразмерных параметров исключает вопрос о размерностях левой и правой частей моделей и в условиях, когда исходные данные измерены с погрешностями, способствует устойчивости определения параметров моделей.

На рис. 1 приведена графическая интерпретация результатов испытаний двигателя по серии нагрузочных характеристик при работе на бензине. Непосредственно из рисунка следует, что нагрузочные характеристики $CH_0=f(S_0)$ имеют нелинейный характер. Поэтому каждая из них может быть аппроксимирована полиномом второго порядка вида:

$$CH_0 = x_1(n_0)S_0^2 + x_2(n_0)S_0 + x_3(n_0), \quad (2)$$

где $x_1(n_0)$, $x_2(n_0)$, $x_3(n_0)$ – искомые зависимости определяемых параметров от частоты вращения коленчатого вала.

Для определения зависимостей $x_i=f(n_0)$ используем систему полиномов, аппроксимирующих выбросы углеводородов по нагрузочным характеристикам, в явном виде:

$$\begin{aligned} CH_0 &= 7,5093 * S_0^2 - 16,791 * S_0 + 10,283, & n_0 &= 1; \\ CH_0 &= 8,8334 * S_0^2 - 19,793 * S_0 + 12,058, & n_0 &= 0,909; \\ CH_0 &= 9,4551 * S_0^2 - 21,187 * S_0 + 12,987, & n_0 &= 0,818; \\ CH_0 &= 10,072 * S_0^2 - 22,967 * S_0 + 14,235, & n_0 &= 0,727; \\ CH_0 &= 12,768 * S_0^2 - 27,919 * S_0 + 16,693, & n_0 &= 0,636. \end{aligned} \quad (3)$$

Система полиномов (3) позволяет определить закономерности изменения определяемых параметров $x_i=f(n_0)$ при переходе от одной нагрузочной характеристики к другой.

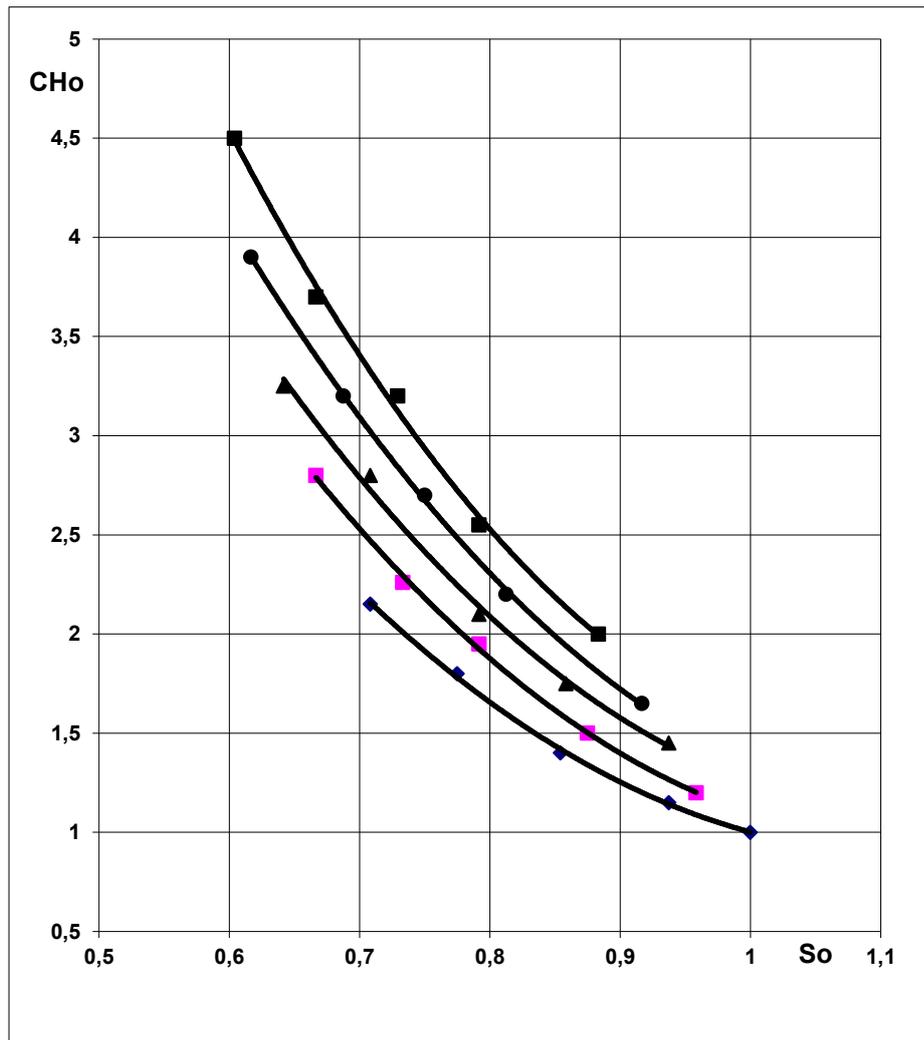


Рис. 1. Закономерности изменения зависимостей $CH_o = f(S_o)$ по нагрузочным характеристикам при работе двигателя на бензине
 Fig. 1. Patterns of dependency changes $CH_o = f(S_o)$ on load characteristics when the engine runs on gasoline

На рис. 2 зависимости $x_i = f(n_o)$ представлены графически. В данном случае это нелинейные зависимости. Поэтому система аппроксимирующих полиномов имеет вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= 23,626 * n_o^2 - 51,57 * n_o + 35,712; \\ x_2 &= -36,969 * n_o^2 + 88,427 * n_o - 68,715; \\ x_3 &= 14,526 * n_o^2 - 40,245 * n_o + 36,212. \end{aligned} \quad (4)$$

Подстановкой (4) в (2) получено уравнение поверхности, образованной смещением зависимости $CH_o = f(S_o)$ при переходе от одной нагрузочной характеристики к другой.

$$\begin{aligned} CH_{op} &= (23,626 * n_o^2 - 51,57 * n_o + 35,712) * S_o^2 + \\ &+ (-36,969 * n_o^2 + 88,427 * n_o - 68,715) * S_o + \\ &+ (14,526 * n_o^2 - 40,245 * n_o + 36,212). \end{aligned} \quad (5)$$

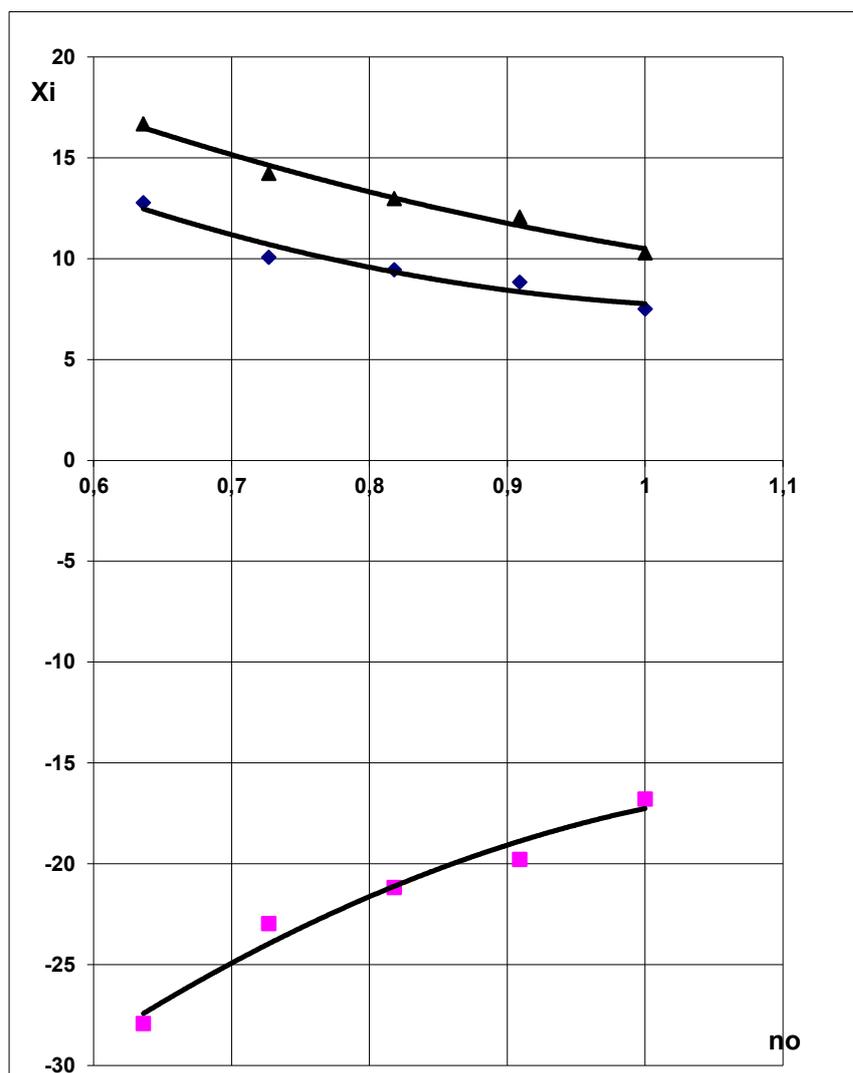


Рис. 2. Зависимости $x_i = f(n_o)$ при работе двигателя на бензине
 Fig. 2. Dependence $x_i = f(n_o)$ when the engine runs on petrol

На рис. 3 приведена гистограмма распределения погрешностей расчета выбросов углеводородов с отработавшими газами по уравнению (5) при работе двигателя на бензине по всему массиву исходных данных. Видно, что уравнение (5) воспроизводит весь массив исходных данных с погрешностью, не превышающей $\pm 2,5\%$.

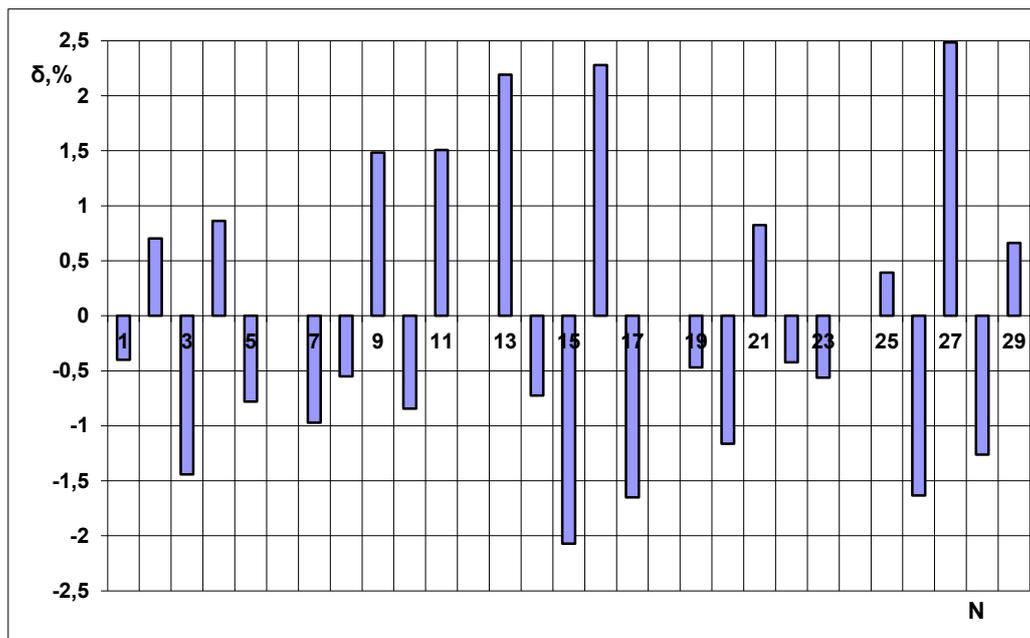


Рис. 3. Гистограмма распределения погрешностей расчета выбросов углеводородов по уравнению (5) по всему массиву исходных данных
 Fig. 3. Distribution histogram of hydrocarbon emissions calculation errors on equation (5) around the original data array

Модель для оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на топливном газе построена на основе следующих исходных данных:

- использованы результаты замеров выбросов углеводородов в процессе стендовых испытаний, приведенные на рис. 4;
- при переходе от абсолютных значений информативных параметров к относительным значения нормирующих параметров при работе двигателя на бензине и топливном газе приняты одинаковыми.

С учетом названных условий для оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на топливном газе получено следующее уравнение:

$$\begin{aligned}
 CH'_{op} = & (29,181 * n_o^2 - 71,789 * n_o + 50,883) * S_o^2 + \\
 & + (-28,094 * n_o^2 + 92,4 * n_o - 81,991) * S_o + \\
 & + (-0,2139 * n_o^2 - 24,603 * n_o + 34,785).
 \end{aligned} \tag{6}$$

Расчеты выбросов углеводородов по уравнениям (5) и (6) выполнены для одних и тех же скоростных и нагрузочных режимов. Результаты расчетов приведены на рис. 5 в виде зависимости $CH_{об} = f(CH_{ог})$, которая аппроксимирована полиномом первого порядка

$$CH_{об} = 0,9154 * CH_{ог} + 0,4412. \tag{7}$$

Уравнение (7) удобно использовать для сравнительной оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на бензине и топливном газе. Например, если выбросы $CH_{об} = 0,5$ при работе двигателя на топливном газе, то при работе двигателя на этом же режиме на бензине $CH_{об} = 0,9$, т. е.

увеличиваются в 1,8 раза, при $CH_{0r} = 3,0$, $CH_{0б} = 3,19$ увеличение составляет всего 1,06 раза. Другими словами, приведенные сравнительные оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на бензине и топливном газе свидетельствуют о том, что существенное снижение выбросов углеводородов достигается на повышенных скоростных и нагрузочных режимах. Со снижением частоты и нагрузки это различие уменьшается, в данном случае примерно по линейному закону.

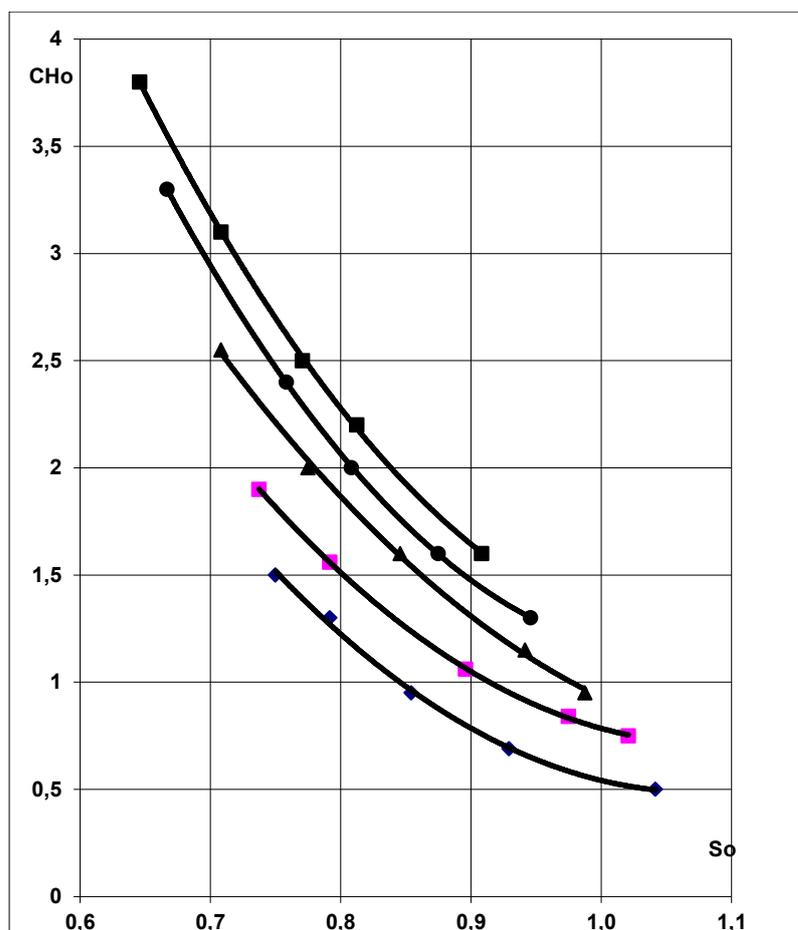


Рис. 4. Закономерности изменения зависимостей $CH_0=f(S_0)$ по нагрузочным характеристикам при работе двигателя на топливном газе
 Fig. 4. Patterns of dependency changes $CH_0 = f(S_0)$ on load characteristics when the engine runs on fuel gas

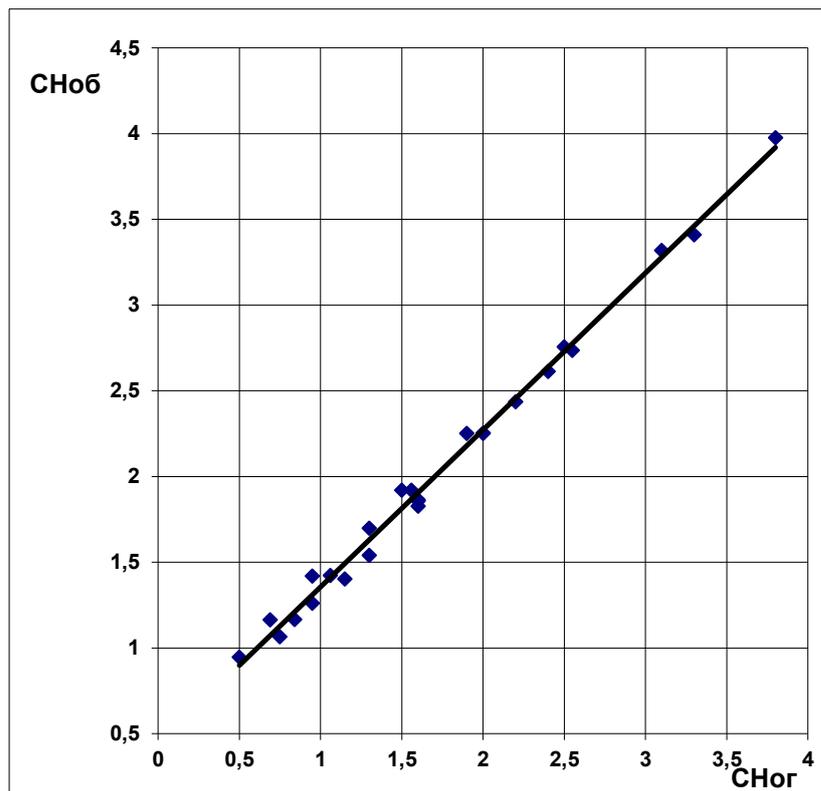


Рис. 5. Зависимость $CH_{0b}=f(CH_{0g})$ для сравнительной оценки выбросов углеводородов с отработавшими газами при работе двигателя на бензине и топливном газе

Fig. 5. Dependence of $CH_{0b} = f(CH_{0g})$ for comparative assessment of hydrocarbon emissions from the exhaust gases of the engine on gasoline and fuel gas

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Морозов, К. А. Токсичность автомобильных двигателей / К. А. Морозов. – Москва: Легион, 2001. – 80 с.
2. Кульчицкий, А. Р. Токсичность поршневых ДВС. Образование вредных веществ при горении топлив: учеб. пособие / А. Р. Кульчицкий. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 80 с.
3. Ковальчук, Л. И. Экспериментально-теоретические модели выбросов диоксида углерода с отработавшими газами двигателем с принудительным зажиганием при работе на бензине и топливном газе / Л. И. Ковальчук, И. В. Мишачков // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016.– № 42. – С. 205-212.
4. Белов, М. Б. Моторное топливо XXI века / М. Б. Белов, М. В. Варанкин, Я. Ю. Новицкий // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. - № 6 (42). – С. 14-19.
5. Ковальчук, Л. И. Сравнительная оценка выбросов оксида углерода с ОГ двигателем с принудительным зажиганием при работе на бензине и топливном

газе / Л. И. Ковальчук, И. В. Мишачков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. - № 5 (53). – С. 40-45.

REFERENCES

1. Morozov K.A. *Toksichnost' avtomobil'nykh dvigateley* [Toxicity of automobile engines]. Moscow, Legion., 2001, 80 p.
2. Kulchytsky A.R. *Toksichnost' porshnevykh DVS. Obrazovanie vrednykh veshchestv pri gorenii topliv* [Toxicity of reciprocating internal combustion engines. Formation of harmful substances during combustion of fuels: student's book]. Vladimir, Vladimirsij Gos. Univ., 2010, 80 p.
3. Kovalchuk L. I., Mishachkov I. V. Experimental and theoretical models of emissions of carbon dioxide with the fulfilled gases the engine with compulsory ignition during the work on gasoline and fuel gas [Experimental and theoretical models of emissions of carbon dioxide by the sparkle-ignition engine when running on gasoline and fuel gas]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2016, no.42, pp. 205-212.
4. Belov M. B., Varankin M. V., Novitsky YA.YU. Motor XXI centuries fuel [Motor fuel of the XXI century]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2014, no. 6 (42), pp. 14-19.
5. Kovalchuk L. I., Mishachkov I. V. Sravnitel'naja ocenka vybrosov oksida ugleroda s OG dvigatelem s prinuditel'nym zazhiganiem pri rabote na benzine i toplivnom gaze [Comparative assessment of carbon oxide emissions with burnt gas by the spark-ignition engine running on gasoline and fuel gas]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2016, no. 5 (53). pp. 40-45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковальчук Леонид Игнатъевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»; доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»;
E-mail: kafedra_avto@bga.gazinter.net

Kovalchuk Leonid Ignatevich – Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»;
Doctor of engineering, Professor at the Department of automobile transport and car service; E-mail: kafedra_avto@bga.gazinter.net

Соболин Владимир Николаевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»; кандидат педагогических наук, доцент, декан транспортного факультета; E-mail: sobolin_tf@bga.gazinter.net

Sobolin Vladimir Nikolaevich – Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»;
PhD in pedagogy, Associate-professor, Dean of the Transport Faculty;
E-mail: sobolin_tf@bga.gazinter.net

УДК 624.072.014.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ
И УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК С КРУГЛЫМИ
ВЫРЕЗАМИ

А. С. Лаврова, А. И. Притыкин

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF RIGIDITY AND STABILITY
OF PERFORATED BEAMS WITH CIRCULAR OPENINGS

A.S. Lavrova, A. I. Pritykin

Проведено комплексное исследование влияния круглых вырезов на прогибы и местную устойчивость перфорированных балок. Для величин прогибов, определяемых по теории составных стержней, получена удобная в инженерных расчетах аналитическая зависимость. Надежность зависимости проверена не только сопоставлением с расчетами метода конечных элементов (МКЭ) при помощи программного комплекса ANSYS, но и с экспериментальными данными, полученными по испытаниям четырехметровой модели из стали. Критические напряжения, соответствующие потере местной устойчивости перемычек от сдвига, оценивались по эмпирической зависимости, полученной в результате анализа расчетов МКЭ. Наряду с теоретическими исследованиями были проведены испытания на устойчивость модели натуральных размеров для проверки влияния начальных несовершенств в виде небольших выпучин стенки, неточности изготовления и разброса толщин, а также остаточных напряжений при сварке. Для сокращения расходов местная устойчивость исследовалась также на маломасштабных моделях перфорированных балок, выполненных из жести в масштабе 1:20. На основе теории подобия показано, что для обеспечения надежного пересчета результатов испытаний модели на натуру надо соблюсти геометрическое подобие стенки в плане, а константу подобия по толщине можно принимать иной. Слабое влияние на критическую нагрузку оказывают как размеры полок, так и отклонения в подобии по коэффициенту Пуассона. Приведена зависимость для пересчета критической нагрузки модели на натурную конструкцию. Показано, что расчеты МКЭ дают надежную оценку устойчивости, а испытания моделей надо производить лишь в отдельных случаях. Расхождение результатов испытания моделей и расчетов критической нагрузки МКЭ достигает 6 %.

перфорированная балка, круглые вырезы, прогибы, местная устойчивость, моделирование, экспериментальное исследование, МКЭ

A complex study of the effect of round cuts on deflections and local stability of perforated beams was carried out. For the values of deflections determined using the theory of compound rods, an analytic dependence convenient for engineering calculations is obtained. Reliability of the dependence is checked not only by comparison with

the FEM calculations using the ANSYS software complex, but also with the experimental data obtained from testing of the four-meter steel model.

The critical stresses corresponding to the loss of local stability of the jumpers from shift were estimated using empirical relationship obtained as a result of the analysis of the FEM calculations. Along with the theoretical studies, we tested stability of a full-scale model to check the effect of initial imperfections in the form of small wall bulges, inaccuracy in the manufacture and thickness distribution, as well as the influence of residual stresses in welding. To reduce costs, local stability was also investigated on small-scale models of perforated beams made of tin on a scale of 1:20. On the basis of the similarity theory, it is shown that in order to ensure reliable recalculation of the results of model tests on nature, it is necessary to observe geometric similarity of the wall on the plan, and the similarity constant in thickness can be taken different. A weak influence on the critical load is exerted both by the dimensions of the shelves and by the deviations in the similarity according to the Poisson's ratio. A dependence is presented for recalculating the critical load of the model for the full-scale design. It is shown that the FEM calculations provide a reliable estimate of the stability, and the models should be tested only in certain cases. The discrepancy between the results of the model test and the calculation of the critical load of FEM reaches 6 %.

perforated beam, circular openings, deflections, local stability, modeling, experimental study, FEM

ВВЕДЕНИЕ

Перфорированные балки с круглыми вырезами (БКВ) получили широкое распространение в строительстве благодаря тому, что безотходная технология изготовления их позволяет получить широкий спектр параметров перфорации. Еще одним достоинством БКВ является низкая концентрация напряжений по сравнению с балками с шестиугольными вырезами. Исследования перфорированных балок широко проводятся как в России [1-4], так и за рубежом [5-8], однако рекомендации по их проектированию до конца не разработаны, о чем свидетельствует отсутствие таковых как в СНиП, так и в Правилах Регистра РФ.

Подобного рода перфорация применяется также в днищевых балках корпусов судов (рис. 1, заимствован из [9]) и в авиастроении - в траверсах, расположенных в районе пассажирских палуб.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе проведено комплексное исследование деформаций и устойчивости балок с круглыми вырезами. Вопрос определения прогибов балки рассматривался с применением теории составных стержней (ТСС), а оценка величины критической нагрузки, соответствующей потере местной устойчивости перемычек от сдвига, осуществлялась на основе анализа результатов расчета перфорированных балок методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS. Проверка полученной эмпирической зависимости, позволяющей оценить устойчивость балки, была выполнена также на маломасштабных моделях и натурной конструкции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Хотя расчеты МКЭ являются эффективным способом определения прогибов перфорированных балок, для его использования необходимо, во-первых, располагать соответствующим программным комплексом (например, ANSYS), а во-вторых, уметь им пользоваться, для чего требуется немалая подготовка. Всегда предпочтительнее применять аналитические зависимости, позволяющие производить расчеты весьма оперативно.

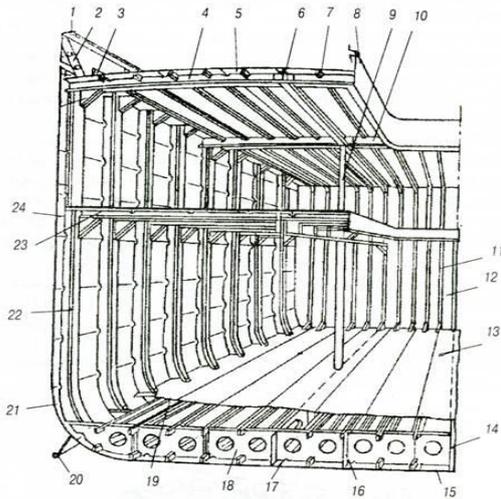


Рис. 1. Конструкция флоров с круглыми вырезами днищевого перекрытия корпуса судна

Fig. 1. Design of floors with circular cutouts of the hull bottom

удобен для инженерных расчетов

$$w^{TCC} = w^{TT} (1 + I_m / (2iK_c^*)), \quad (1)$$

где w^{TT} - прогиб, определяемый по технической теории изгиба для балки с моментом инерции I_m , равным среднему значению моментов инерции, вычисленных для двух сечений: посередине перемычки $I_{cнл}$ и по сечению, ослабленному вырезом I . В этом случае момент инерции I_m принимает вид

$$I_m \approx b_f t_f (H - t_f)^2 / 2 + t_w (H - 2t_f)^3 / 12 - t_w d^3 / 24. \quad (2)$$

В выражение (1) входят еще два параметра: безразмерный коэффициент K_c^* , зависящий от коэффициента жесткости упругого слоя K_c , образованного перемычками, и i - момент инерции таврового пояса над вырезом.

В случае действия на балку двух сосредоточенных сил P (рис. 2) величина w^{TT} вычисляется как

$$w^{TT} = 13.5 P l^3 / (384 E I_m). \quad (3)$$

С этой целью нами была получена аналитическая зависимость для оценки прогибов перфорированных балок с круглыми вырезами на основе теории составных стержней.

Согласно этой теории решение дифференциального уравнения изгиба шарнирно опертой перфорированной балки с круглыми вырезами было получено разложением функции изгибающего момента в тригонометрический ряд по синусам [1]. Благодаря высокой сходимости ряда такой подход позволил получить довольно компактное решение путем удержания в разложении всего одного члена. Вид его достаточно

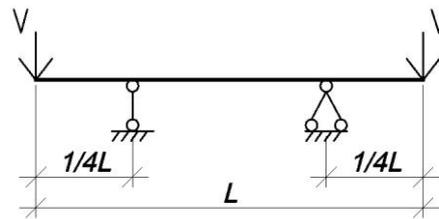


Рис. 2. Схема нагружения двухконсольной балки двумя силами
Fig. 2. Loading scheme for the overhanging beam with two forces

Для дальнейшего численного анализа выражения w^{TCC} (1) необходимо знание величины коэффициента K_c^* , который в общем случае определяется как [1]

$$K_c^* = K_c l^2 I / (E f t_f^2). \quad (4)$$

Площадь таврового пояса f вычисляется по формуле

$$f = b_f t_f + 0.5(H - d - 2t_w) t_w. \quad (5)$$

Для балок с круглыми вырезами коэффициент жесткости упругого слоя K_c имеет вид

$$K_c = \frac{G t_w}{\alpha(\eta) d (1 + 2/\eta)}, \quad (6)$$

где G - модуль сдвига; c - ширина перемычки; d - диаметр выреза; $\alpha(\eta)$ - числовой коэффициент, зависящий от вида закрепления балки (шарнирное опирание или жесткая заделка) и относительной ширины перемычки $\eta = c/d$.

Для шарнирно опертой балки с вырезами $d=0.667H$ величина коэффициента $\alpha(\eta)$ может быть принята в виде

$$\alpha(\eta) = 2.43\eta^2 + 4.2\eta. \quad (7)$$

Зависимость (7) применима для ширины перемычек в диапазоне $0.15 \leq \eta \leq 0.5$. Подстановка (4) и (6) в (1) приводит к выражению

$$w_{perf} = w^{TT} (1 + 1.3\pi^2 d f \alpha(\eta) (1 + 2/\eta) / t_w l^2). \quad (8)$$

Удобство зависимости (8) состоит в ее простоте.

Для балки 400-48-0.2-10-0.3см-0.667-0.5 с круглыми вырезами величина прогиба, вычисленная по теории составных стержней (8) при $w^{TT} = 2.817$ мм (рис. 3,а), приводит к значению $w_{perf} = 4.04$ мм. Сопоставляя полученный результат с расчетом МКЭ (рис.3,б), отметим, что расхождение не превышает 1 %.

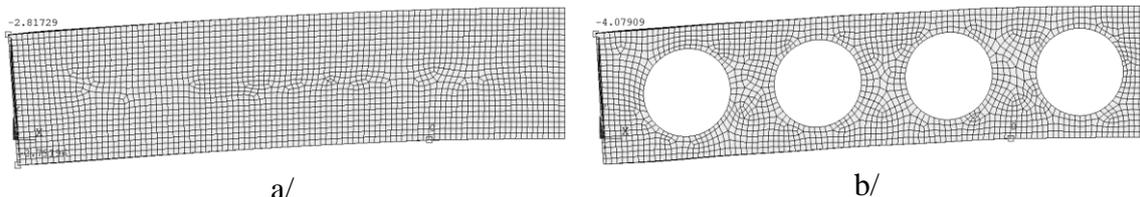


Рис. 3. Прогибы двухконсольной балки 400-48-0.2-10-0.3см-0.667-0.5 при сосредоточенных силах на концах $P=10$ кН: а/сплошная; б/перфорированная
Fig. 3. Deflections of the overhanging beam 400-48-0.2-10-0.3cm-0.667-0.5 for concentrated forces at the ends $P = 10$ кН: a / solid; b / perforated

Дополнительной проверкой надежности зависимости (8) явилось экспериментальное исследование прогибов на натурной балке с восемью вырезами диаметром 320 мм (рис. 4). Балка имела две консоли длиной по 1.5 м и шарнирное опирание на двух опорах, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга. Нагружение балки осуществлялось с помощью двух динамометров на растяжение ДР-2, прикрепляемых к силовому полу и к балке. Прогиб на консоли в месте приложения сосредоточенной силы $P=4\text{кН}$, измеренный индикатором часового типа с ценой деления 0.01мм, составил $w_{\text{эсп}} = 4.12\text{мм}$. Расхождение с расчетом по ТСС было менее 2 %.

Таким образом, два разных способа - метод конечных элементов и эксперимент - подтвердили приемлемость расчета прогибов перфорированной балки по теории составных стержней в форме (8). Оценим теперь местную устойчивость.



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки при испытании на изгиб
Fig. 4. General view of the experimental installation for the bend test

Устойчивость перфорированной балки

Как известно, потеря устойчивости стенки балки может стать определяющим фактором в оценке ее несущей способности. Исследование местной устойчивости перфорированных балок производилось на моделях из жести толщиной 0.19 мм и на натурной конструкции. Наиболее сложной операцией изготовления БКВ являлось выполнение круглых вырезов в стенке. Специально разработанная технология позволила получить вырезы без заметного искажения плоскости стенки.

В работе ставилась задача оценить возможность проведения экспериментов на маломасштабных моделях для получения величины критической нагрузки, соответствующей потере местной устойчивости перфорированной балки с круглыми вырезами при нагружении ее сосредоточенной силой. Преследовалась цель показать, что маломасштабные модели в большинстве случаев эффективнее испытаний натурной конструкции.

Хотя расчеты МКЭ дают надежные результаты, зачастую для их проверки используются экспериментальные исследования на натуральных конструкциях или маломасштабных моделях. Необходимость в проведении такого рода исследова-

ний заключается в том, что расчетные конечно-элементные модели подразумевают чаще всего геометрически идеальную конструкцию, не учитывающую начальные несовершенства в виде небольших выпучин, разброса толщин или остаточных напряжений при сварке.

Испытание натуральных конструкций достаточно затратно, поэтому в ряде случаев предпочтение следует отдавать исследованию устойчивости на маломасштабных моделях, основными преимуществами которых являются дешевизна и простота их изготовления.

Одна из моделей, выполненная из жести в масштабе 1:20 (рис. 5), имела размеры $31.5-2.7-0.019-0.7-0.038\text{см}-0.63-0.41$, где принято обозначение $l-H-t_w-b_f-t_f-\beta-\eta$. Конструктивная форма ее показана на рис. 5.

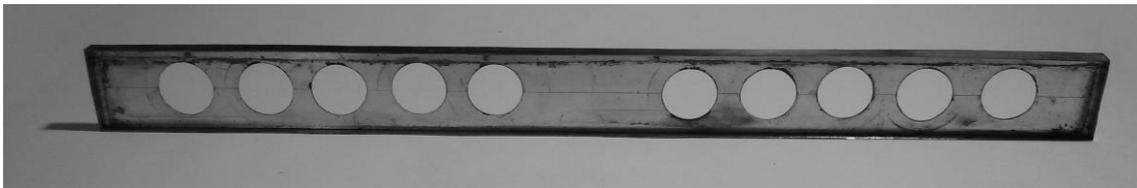


Рис. 5. Маломасштабная модель из жести
Fig. 5. A small-scale model of tin

Исследования устойчивости указанной БКВ проводились на типовом оборудовании путем непосредственного нагружения двухконсольной шарнирно опертой балки сосредоточенными силами на концах (рис.6,а).

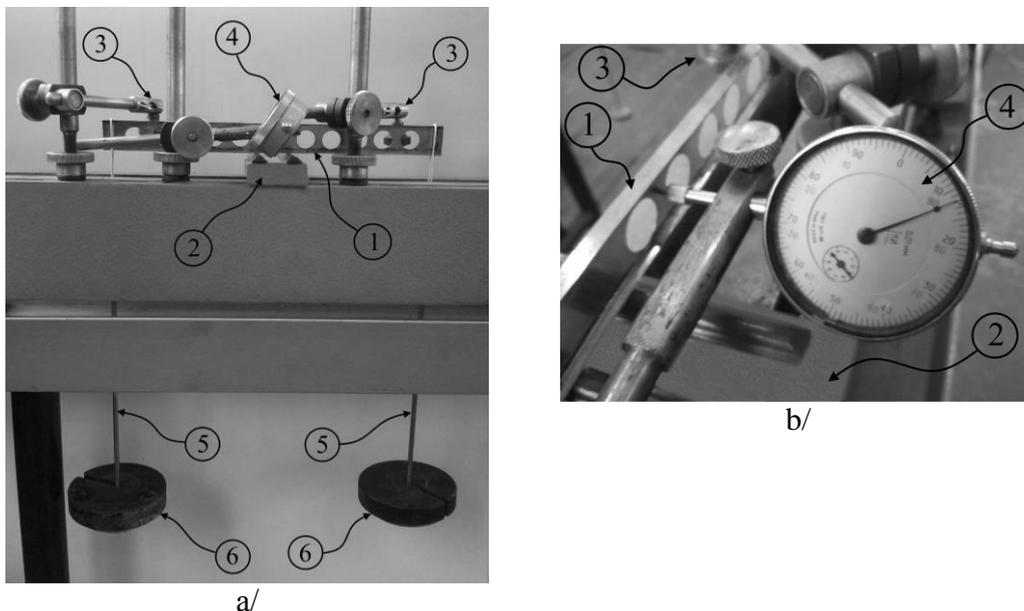


Рис. 6. Испытание перфорированной балки на устойчивость: а/ модель балки в установке; б/ замер выпучивания стенки индикатором
Fig. 6. Testing the perforated beam for stability: a / model of the beam in the installation; b / measuring the buckling of the wall with an indicator

Для предотвращения потери плоской формы изгиба стенка балки фиксировалась от горизонтального смещения в трех сечениях горизонтальными штангами. Момент выпучивания перемычки определялся с помощью стрелочного индикатора 4 с ценой деления 0.01 мм (рис. 6,b). У модели балки с размерами 31.5-2.7-0.019-0.7-0.038 см - 0.63-0.41 (рис. 5) на концах были припаяны двухсторонние ребра жесткости высотой, равной половине ширины полки для предотвращения возможной потери устойчивости стенки от сжатия под сосредоточенной силой.

Эксперимент показал, что критическая нагрузка составила величину $Q_m^p = 69.8\text{H}$, причем сразу же при небольшом ее увеличении теряют устойчивость и остальные перемычки (рис.7,a).

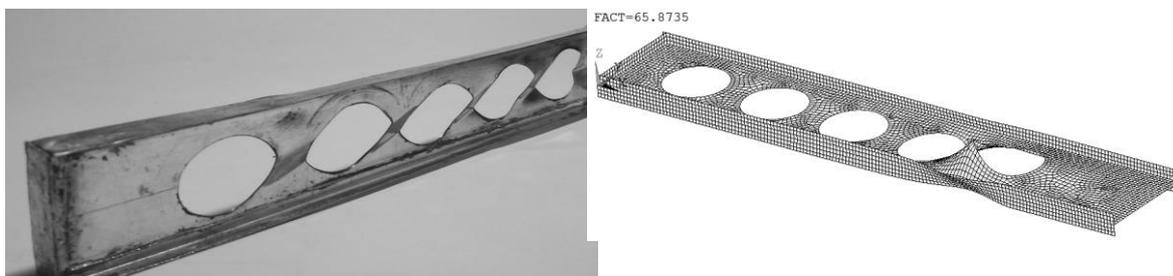
Расчет модели МКЭ с помощью программного комплекса ANSYS (рис.7,b) привел к значению $Q_m^{МКЭ} = 65.87\text{H}$. Такое расхождение (менее 6 %) может быть объяснено ее конструктивными особенностями.

При исследовании устойчивости на маломасштабных моделях важно правильно пересчитать с помощью теории моделирования результаты испытаний на натурную конструкцию [10].

Для отыскания критической нагрузки перемычки при сдвиге воспользуемся дифференциальным уравнением устойчивости

$$D\nabla^2\nabla^2 w = 2\tau_{xy}t \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (9)$$

Делением левой части уравнения на правую, опуская знаки дифференцирования, получим из (9) три критерия подобия. При обеспечении геометрического подобия натуре и модели в плане, т. е. выполнении условия равенства констант подобия $C_x = C_y$, три индикатора подобия сводятся к одному.



a/

b/

Рис. 7. Местная потеря устойчивости перемычек: а/ при испытании модели; б/ при расчете МКЭ

Fig. 7. Local loss of stability of the jumpers: a / when testing the model; b / when calculating by FEM

Выразив напряжения τ через поперечную силу V , можно, с учетом того, что изменение коэффициента Пуассона в диапазоне $0.3 \leq \mu \leq 0.35$ практически не влияет на величину V^p [11], производить пересчет критической нагрузки V с модели на натурную конструкцию по соотношению

$$Q_n^3 = \frac{C_E C_t^3}{C_y} Q_m^3. \quad (10)$$

Такой пересчет будет, конечно, приближенным, поскольку здесь ничего не было сказано о полках балки, но, как показали расчеты МКЭ, их роль в диапазоне реальных размеров двутавровых балок незначительна: например, увеличение толщины полок в 2-4 раза повышает уровень критической нагрузки всего на 1 – 2 %.

Полученная зависимость (10) показывает, что при моделировании не обязательно соблюдать подобие конструкций по толщине. Это позволяет использовать в моделях разные константы подобия по размерам в плане и по толщине. Учитывая, что константа подобия по толщине входит в зависимость (10) в кубе, увеличение ее позволяет существенно снизить расчетную нагрузку на модель и уменьшить при этом габаритные размеры испытательной установки.

Расчет критических касательных напряжений производился по полученной в работе зависимости

$$\tau_{кр} = V_{кр} s / ct_w f, \quad (11)$$

где $f \approx 0.95H$ - плечо равнодействующих продольных усилий в тавровых поясах.

Для модели с размерами 31.5-2.7-0.019-0.7-0.038 см - 0.63-0.41 величина $\tau_{кр}$ по (11) получилась равной 45.9 МПа, а расчет МКЭ при критической нагрузке $V_{кр} = 65.87$ Н (рис.7,b) приводит к значениям, представленным на рис. 8, причем средняя величина получается равной 47.6 МПа. Расхождение не превышает 3.6 %.



Рис. 8. Критические напряжения $\tau_{кр}$ в перемычке маломасштабной модели

Fig. 8. Critical stresses $\tau_{кр}$ in the jumper of a small-scale model

Помимо маломасштабных моделей была испытана натурная балка размерами 410-48-0.2-10-0.3 см - 0.667-0.5 (рис. 9) – ставилась задача сопоставить расчеты критической нагрузки $Q_m^{МКЭ}$ балки МКЭ с результатами эксперимента для оценки влияния на устойчивость некоторых несовершенств конструкции.

Выполненные эксперименты на натурной балке, имеющей восемь вырезов диаметром 320 мм, показали, что даже при наличии небольших дефектов в виде отклонений от геометрии из-за сварочных деформаций и некоторого разброса толщин получаемые результаты вполне надежны.

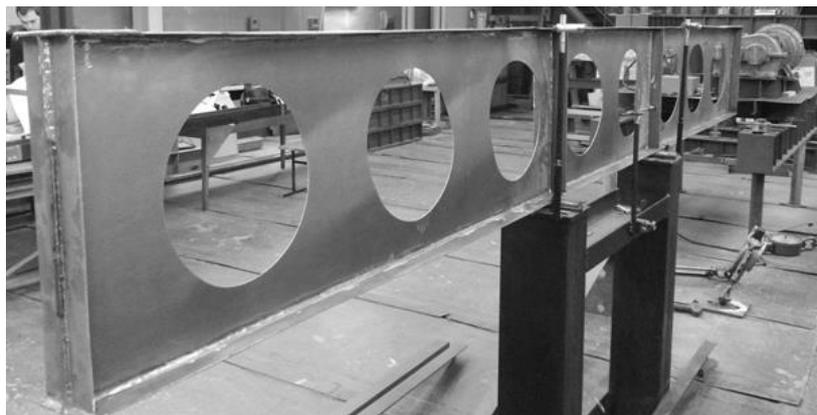


Рис. 9. Общий вид перфорированной балки после потери местной устойчивости перемычек

Fig. 9. General view of the perforated beam after loss of local stability of the jumpers

Критическая нагрузка, соответствующая потере местной устойчивости перемычки (рис. 8), при нагружении балки двумя сосредоточенными силами (рис. 4) в эксперименте получилась равной $Q_{кр} = 4.9кН$. Расчет же МКЭ (рис.10) дал значение $Q_{кр} = 4.79кН$, что приводит к расхождению в 4 %.

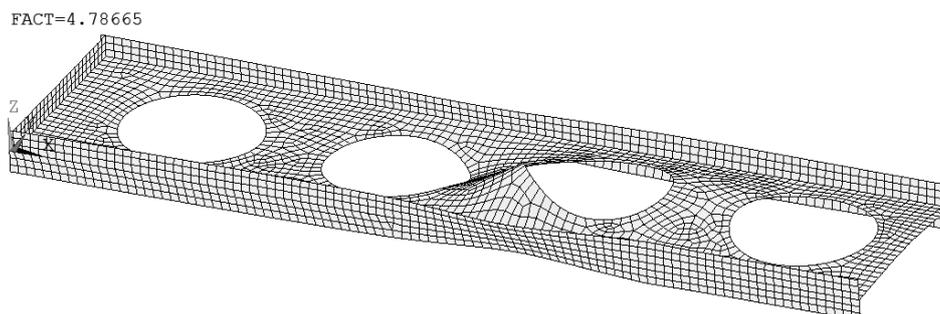


Рис. 10. Потеря местной устойчивости двухконсольной балки 400-48-0.2-10-0.3 см - 0.667-0.5 при нагружении сосредоточенными силами

Fig. 10. Loss of local stability of the overhanging beam 400-48-0.2-10-0.3 cm - 0.667-0.5 when loaded by concentrated forces

Заметим, что форма потери устойчивости как у натурной конструкции (рис. 9), так и у маломасштабной модели (рис. 7) практически одинакова.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили получить зависимости для прогибов и критических касательных напряжений, соответствующих местной потере устойчивости перемычек при постоянной поперечной силе. Приемлемость полученных зависимостей проверена расчетами МКЭ и результатами испытаний моделей.

ВЫВОДЫ

Зависимость (8) дает возможность надежно определять прогибы балок с круглыми вырезами в широком диапазоне параметров перфорации $0.15 \leq \eta \leq 0.5$ и $0.667 \leq \beta \leq 0.73$.

Зависимость (11) позволяет вычислять критические касательные напряжения в перемычке при известной величине критической поперечной силы $V_{кр}$.

Испытания на устойчивость маломасштабных моделей позволяют получить не менее надежные результаты, чем испытания натуральных конструкций, и к тому же обходятся намного дешевле.

При моделировании устойчивости можно принимать разные константы подобия по габаритным размерам балки и по толщине.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Притыкин, А. И. Прогибы перфорированных балок с шестиугольными вырезами: две формы решения / А. И. Притыкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 5. – С.111-118.
2. Притыкин, А. И. Отечественный и зарубежный подходы к оценке прогибов перфорированных балок / А. И. Притыкин, А. С. Лаврова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2015. – № 6. – С. 17-23.
3. Арончик, А. Б. Экспериментальное исследование устойчивости стенок перфорированных балок / А. Б. Арончик, В. А. Селезнева // Исследование легких металлических конструкций производственных зданий. – Красноярск, 1984. – С. 4-15.
4. Добрачев, В. М. Прочность и местная устойчивость стенки-перемычки перфорированной балки / В. М. Добрачев, В. Г. Себешев, Е. В. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 2. – С.10-16.
5. Chhapkhane N.K., Analysis of stress distribution in castellated beam using finite element method and experimental techniques / N.K. Chhapkhane, R. K. Shashikant // Int. J. of Mechanical Engineering Applications Research. – 2012. – Vol.3(3). –pp.190-197.
6. Lagros N. D. Optimum design of steel structures with web opening / N. D. Lagros, L.D. Psarras, M. Papadrakasis, G. Panagiotou // Journal of Engineering Structures. – 2008. – Vol.30. –pp. 2528-2537.
7. Redwood R. Castellated Beam Web Buckling in Shear / R. Redwood, S. Demirdjian // Journal of Structural Engineering. – 1998. – Vol. 124. – No. 10. – pp. 1202-1207.
8. Wang P. Vertical shear buckling capacity of web-posts in castellated steel beams with fillet corner hexagonal web openings / P. Wang, X. Wang, N. Ma // Engineering Structures. – 2014. – Vol.75. – pp. 315-326.
9. Барабанов, Н. В. Конструкция корпуса морских судов / Н. В. Барабанов: в 2 т. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1993. – Т. 1. – 607с.

10. Кирпичев, М. В. Теория подобия / М. В. Кирпичев. – Москва: Изд-во АН СССР, 1953. – 93 с.
11. Крайтерман, Б. Л. О моделировании напряженного состояния гибких пластин при различных коэффициентах Пуассона / Б. Л. Крайтерман // Прикладная механика. – 1974. – Т. X. – Вып. 6. – С. 122-125.

REFERENCES

1. Pritykin A. I. Progiby perforirovannyh balok s shestiugol'nymi vrezami: dve formy reshenija [Deflections of perforated beams with hexagonal cutouts: two forms of solution]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 5, pp. 111-118.
2. Pritykin A. I., Lavrova A. S., Otechestvennyj i zarubezhnyj podhody k ocenke progibov perforirovannyh balok [Domestic and foreign approaches to assessing deflections of perforated beams]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 2015, no. 6, pp. 17-23.
3. Aronchik A. B., Selezneva V. A. Jeksperimental'noe issledovanie ustojchivosti stенок perforirovannyh balok [Experimental research of the stability of the walls of perforated beams] *Issledovanie legkih metallicheskih konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy*. Krasnojarsk, 1984, pp. 4-15.
4. Dobrachev V. M., Sebeshev V. G., Litvinov E. V., Prochnost' i mestnaja ustojchivost' stenki-peremychki perforirovannoj balki [Strength and local stability of lintel-wall of the perforated beam]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, 2004, no. 2, pp. 10-16.
5. Chhapkhane N. K., Shashikant R. K. Analysis of stress distribution in castellated beam using finite element method and experimental techniques. *Int. J. of Mechanical Engineering Applications Research*. 2012, vol. 3(3), pp. 190-197.
6. Lagros N. D., Psarras L. D., Papadrakasis M., Panagiotou G. Optimum design of steel structures with web opening. *Journal of Engineering Structures*. 2008, vol. 30, pp. 2528-2537.
7. Redwood R., Demirdjian R. Castellated Beam Web Buckling in Shear. *Journal of Structural Engineering*. 1998, vol. 124, no. 10, pp. 1202-1207.
8. Wang P., Wang X., Ma N. Vertical shear buckling capacity of web-posts in castellated steel beams with fillet corner hexagonal web openings. *Engineering Structures*. 2014, vol.75, pp. 315-326.
9. Barabanov N. V. *Konstrukcia korpusa morskich sudov* [Construction of sea-going ship hulls]. Saint-Petersburg, Shipbuilding, 1993, 607 p.
10. Kirpichev M. V. *Teorija podobija* [Similarity theory]. Moscow, AN SSSR publ., 1953, 93 p.
11. Krajterman B. L. O modelirovanii naprjazhennogo sostojanija gibkih plastin pri razlichnyh koeficientah Puassona [On the simulation of the stress state of flexible plates for various Poisson's rates]. *Prikladnaja mehanika*, 1974, vol. 10, iss. 6, pp. 122-125.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лаврова Анна Сергеевна – Калининградский морской проектный институт – филиал АО «31 государственный проектный институт специального строительства»; инженер; E-mail: a.lavrova39@gmail.com

Lavrova Anna Sergeevna – Kaliningrad Marine Design Institute – branch of JSC "31st State Design Institute of special construction"; engineer;
E-mail: a.lavrova39@gmail.com

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

Pritykin Aleksey Igorevich – Kaliningrad State Technical University; Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Shipbuilding; E-mail: prit_alex@mail.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 654.16

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА
РАДИОСИГНАЛОВ С QPSK, BPSK, 8PSK И DBPSK

Е. В. Волхонская, Е. В. Коротей, К. В. Власова, М. В. Рушко

SIMULATION STUDY OF THE NOISE RESISTENCE OF RADIOSIGNALS
RECEPTION WITH QPSK, BPSK, 8PSK AND DBPSK

E. V. Volkhonskaya, E. V. Korotey, K. V. Vlasova, M. V. Rushko

Произведен сравнительный анализ помехоустойчивости приема следующих фазоманипулированных сигналов: QPSK, BPSK, 8PSK и DBPSK. Построены графические зависимости вероятности битовой ошибки при приеме выбранных радиосигналов от отношения сигнал-шум (ОСШ) в канале связи, произведены выводы о взаимосвязи скорости передачи, ОСШ и вероятности появления ошибок в канале радиосвязи. Исследования подтвердили адекватность известных теоретических положений о помехоустойчивости радиосигналов с фазовой манипуляцией. Результаты исследований, а также разработанная лабораторная установка найдут применение при сравнительной оценке помехоустойчивости канала радиосвязи с использованием стандартных и перспективных запатентованных систем передачи информации в рамках морской подвижной службы при приеме фазоманипулированных радиосигналов.

фазовая манипуляция, помехоустойчивость, радиосигнал, вероятность битовой ошибки, ОСШ

In the course of study, a comparative analysis of the noise stability of receiving the following phase-shift signals was done: QPSK, BPSK, 8PSK and DBPSK. Graphic dependences of the probability of bit error when receiving the selected radio signals from the signal-to-noise ratio (SNR) in the communication channel are constructed, the conclusions about the relationship between the transmission rate, SNR and the probability of errors in the radio channel are made. The studies confirmed the adequacy of the known theoretical provisions on the noise resistance of radio signals with phase manipulation. The research results, as well as the developed laboratory installation, will find application in the comparative evaluation of the noise immunity of the radio communication channel using standard and prospective patented data transmission systems within the maritime mobile service when receiving phase-shift radio signals.

phase manipulation, noise stability, radio signal, probability of bit error, SNR

На сегодняшний день состояние и перспективы развития информационных технологий характеризуются становлением и широким практическим использованием техники цифровой обработки сигналов как одной из самых быстро развивающихся и динамичных технологий в мире телекоммуникаций [1].

В настоящее время сигналы с фазовой манипуляцией (ФМ) находят широкое применение в спутниковых системах связи [2, 3], представленных в таблице, в стандартах протоколов локальных сетей IEEE 802, а также цифрового телевидения DVB.

Таблица. Типы сигналов, применяемых в спутниковых системах связи
Table. Types of signals used in satellite communication systems

Название спутниковой системы	Тип модуляции
Inmarsat	QPSK, BPSK
MSAT	QPSK
Globalstar	QPSK
Iridium	QPSK, DBPSK
Глонасс	BPSK
GSM	BPSK
Thuraya	QPSK
Beidou	QPSK

В настоящей работе была исследована помехоустойчивость приема сигналов со следующими типами манипуляции: четырехпозиционная фазовая (QPSK), двухпозиционная фазовая (BPSK), восьмипозиционная фазовая (8-PSK) и дифференциальная двоичная фазовая (DBPSK).

BPSK, или двухпозиционная фазовая манипуляция, – самая простая форма фазовой манипуляции, где множеству значений информационного сигнала $\{0,1\}$ однозначно ставится в соответствие множество изменений фазы $\{0, \pi\}$, т. е. фаза радиосигнала изменяется на 180° при изменении значения информационного сигнала [4].

Демодуляция сигнала с ФМ связана с трудностью определения точного значения начальной фазы для каждой точки созвездия, так как в результате воздействия шумов и помех созвездие может повернуться на некоторый угол по часовой или против часовой стрелки (в том числе точки созвездия могут поменяться местами). Чтобы устранить данную неоднозначность применяют так называемую относительную (дифференциальную) BPSK (DBPSK). Она представляет собой подвид семейства BPSK, при которой кодируется не сам бит информации, а его изменение. Однако при этом проявляется существенный недостаток DBPSK модуляции, состоящий в размножении при приеме появляющихся вследствие случайных причин ошибок в передаваемой информации.

Квадратурная фазовая манипуляция, или QPSK, - четырехуровневая фазовая манипуляция, при которой начальная фаза высокочастотного колебания может принимать четыре различных значения с шагом, кратным $\pi/2$ [5]. Соотношение между сдвигом фазы модулированного колебания из множества $\{\pm\pi/4, \pm3\pi/4\}$ и множеством символов цифрового сообщения $\{00, 01, 10, 11\}$ устанавливается в каждом конкретном случае стандартом на радиоканал.

Восьмипозиционная фазовая модуляция, или 8-PSK, – модуляция, при которой существуют восемь значений фазы несущего колебания. Каждым символом одновременно передается сразу три бита. Чтобы закодировать восемь различных фаз, входящие биты объединяются в группы по три бита, называемые трибитами

($2^3 = 8$). Таким образом, при 8-PSK модуляции битовая скорость в три раза выше символьной скорости передачи данных.

В работе представлены результаты исследования, в ходе которого была собрана лабораторная установка по измерению вероятности приема ошибочных бит для радиосигналов с QPSK, BPSK, 8PSK и DBPSK при трех различных скоростях передачи, характерных для спутниковых систем передачи информации: 400 Бод, 800 Бод и 1600 Бод для различных ОСШ от -15 дБ до 8 дБ в среде моделирования MathLAB+Simulink. Количество измерений для каждого ОСШ варьировалось от 30 до 120 для каждой из трех скоростей передачи. Поскольку моделирование процесса модуляции и демодуляции радиосигнала не зависит от выбора конкретного значения несущей частоты, то последняя выбиралась исходя из допустимого машинного времени моделирования. В качестве несущей частоты было выбрано значение, равное второй промежуточной частоте (2ПЧ) типовой судовой радиоприемной аппаратуры 456 кГц. По результатам модельных исследований построены графические зависимости вероятности появления ошибок от ОСШ. Для сравнения на этих же графиках были построены кривые потенциальной помехоустойчивости, а также указаны пороговые значения вероятности битовой ошибки, характерные для систем служебной связи.

На рис. 1-4 представлены графики зависимости среднего значения вероятности битовой ошибки при приеме BPSK, QPSK, 8-PSK, DBPSK радиосигналов от ОСШ в канале связи на заданных скоростях передачи. Изображенная на графиках кривая потенциальной помехоустойчивости рассчитывалась в соответствии с выражениями, приведенными в [6].

Совместная плотность вероятности компонент r_1, r_2 вектора принимаемого М-позиционного фазоманипулированного радиосигнала определена в виде

$$P(r_1, r_2) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left[-\frac{(r_1 - \sqrt{\xi})^2 + r_2^2}{2\sigma^2} \right], \quad (1)$$

где r_1, r_2 – совместные гауссовские случайные величины; ξ и σ^2 – энергия сигнала и дисперсия шума соответственно. Путем замены переменных r_1, r_2 получаем совместную плотность вероятности огибающей и фазы М-позиционного фазоманипулированного радиосигнала на фоне белого гауссовского шума

$$P[V, \Theta] = \frac{V}{2\pi\sigma^2} \exp \left[-\frac{V^2 + \xi - 2\sqrt{\xi}V \cos \Theta}{2\sigma^2} \right], \quad (2)$$

где $V = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$ и $\Theta = \arctg\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$ – огибающая и начальная фаза результирующего колебания.

Интегрирование совместной плотности вероятности огибающей и начальной фазы М-позиционного фазоманипулированного радиосигнала на фоне белого гауссовского шума $P(V, \Theta)$ по области огибающей V дает плотность вероятности начальной фазы

$$P[\Theta] = \int_0^{\infty} P(V, \Theta) dV = \frac{1}{2\pi} e^{-2\gamma \sin^2 \Theta} \int_0^{\infty} V e^{-\frac{(V - \sqrt{4\gamma} \cos \Theta)^2}{2}} dV, \quad (3)$$

где γ – отношение сигнал/шум (ОСШ) и определяется следующим выражением:

$$\gamma = \frac{\xi}{N_0}, \quad (4)$$

где N_0 – спектральная плотность средней мощности белого гауссовского шума.

Пределы изменения начальной фазы M -позиционного фазоманипулированного радиосигнала на фоне белого гауссовского шума:

$$-\frac{\pi}{M} \leq \Theta \leq \frac{\pi}{M}. \quad (5)$$

Выражение для оценки потенциальной помехоустойчивости представлено ниже. В зависимости от типа манипуляции меняется только значение M : для BPSK $M = 2$, для QPSK $M = 4$, для 8-PSK $M = 8$, для DBPSK $M = 16$.

$$P(\gamma) = 1 - \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/M}^{\pi/M} e^{-M\gamma \sin^2 \Theta} \int_0^{\infty} V e^{-\frac{(V - \sqrt{2M\gamma} \cos \Theta)^2}{2}} dV d\Theta. \quad (6)$$

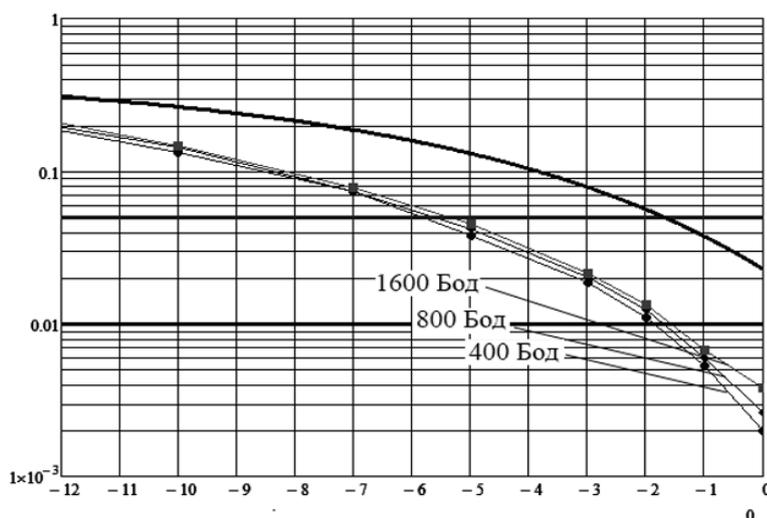


Рис. 1. Зависимость вероятности битовой ошибки при приеме BPSK радиосигнала от ОСШ в канале связи: по оси абсцисс отложены значения ОСШ в дБ,

по оси ординат – средние значения вероятности битовой ошибки в логарифмическом масштабе

Fig. 1. Dependence of the bit error probability when receiving a BPSK radio signal from the SNR in the communication channel: along the abscissa axis- SNR values in dB, along the ordinate axis- the average values of the bit error probability in the logarithmic scale

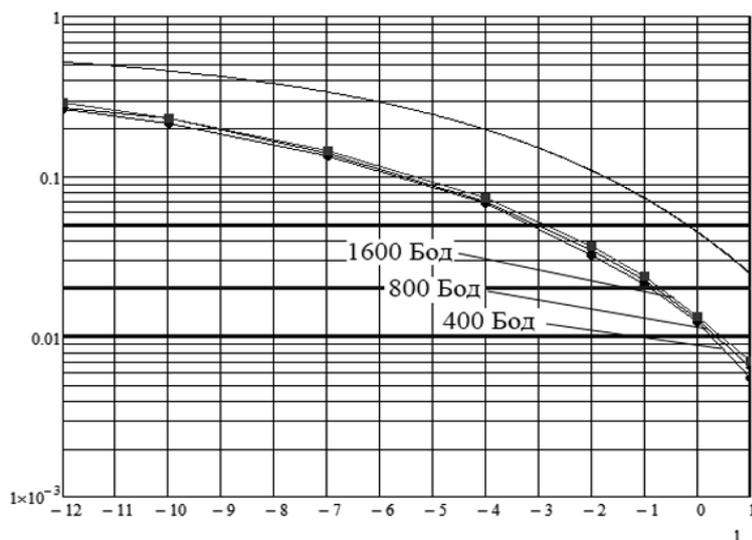


Рис. 2. Зависимость вероятности битовой ошибки при приеме QPSK радиосигнала от ОСШ в канале связи: по оси абсцисс отложены значения ОСШ в дБ, по оси ординат – средние значения вероятности битовой ошибки в логарифмическом масштабе

Fig. 2. Dependence of the bit error probability when receiving a QPSK radio signal from the SNR in the communication channel: along the abscissa axis- the SNR values in dB, along the ordinate axis- the average values of the bit error probability in the logarithmic scale

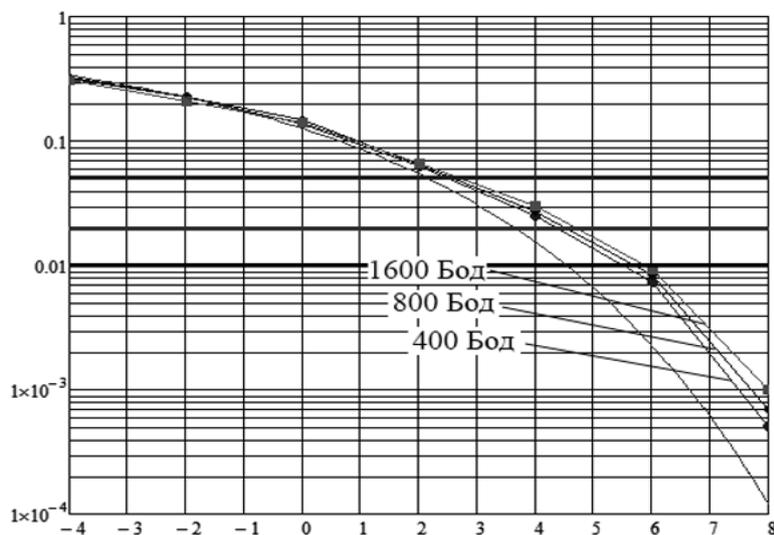


Рис. 3. Зависимость вероятности битовой ошибки при приеме 8PSK радиосигнала от ОСШ в канале связи: по оси абсцисс отложены значения ОСШ в дБ, по оси ординат – средние значения вероятности битовой ошибки в логарифмическом масштабе

Fig. 3. Dependence of the bit error probability when receiving a 8PSK radio signal from the SNR in the communication channel: the abscissa is the SNR in dB, the ordinate is the average values of the bit error probability in the logarithmic scale

Анализ графических зависимостей показывает, что они повторяют форму кривой потенциальной помехоустойчивости для BPSK и QPSK, но лежат ниже нее. Кривая потенциальной помехоустойчивости для 8-PSK лежит выше построенных зависимостей, но также повторяет их форму. Для DBPSK измеренные графические зависимости не повторяют форму кривой потенциальной помехоустойчивости, но последняя проходит через графики. Очевидно, что для QPSK, как и для BPSK, увеличение скорости передачи мало влияет на помехоустойчивость, однако при использовании QPSK радиосигнала значения ОСШ, обеспечивающие заданную вероятность битовой ошибки, больше, чем для BPSK радиосигнала, что еще раз подтверждает более низкую помехоустойчивость QPSK [6].

Характерным для построенных зависимостей является увеличение значения вероятности битовой ошибки с возрастанием скорости передачи при фиксированном ОСШ в канале связи. При увеличении скорости передачи BPSK в четыре раза при вероятности битовой ошибки 0,05 проигрыш составляет менее 0,25 дБ, для QPSK при тех же параметрах – порядка 0,3 дБ, для 8-PSK – порядка 0,5 дБ, а для DBPSK – порядка 1 дБ.

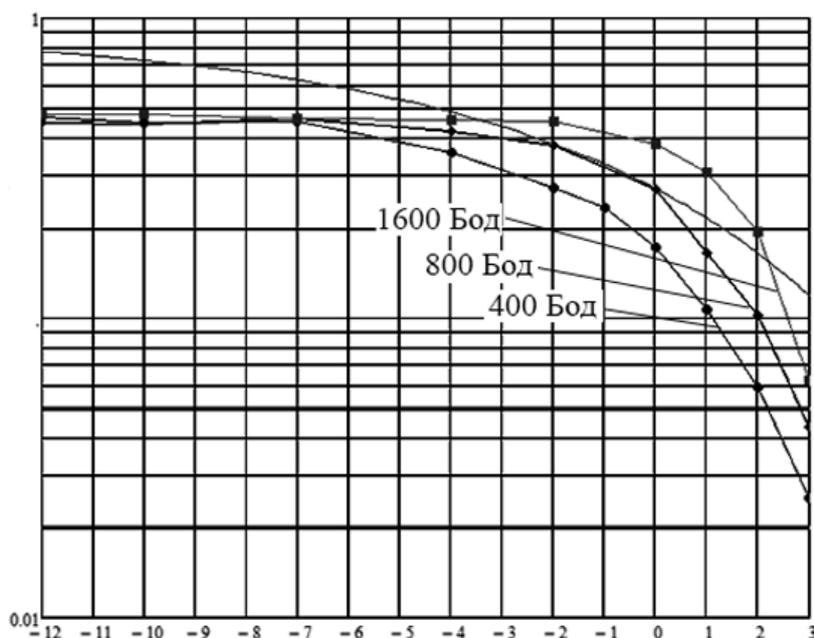


Рис. 4. Зависимость вероятности битовой ошибки при приеме DBPSK радиосигнала от ОСШ в канале связи: по оси абсцисс отложены значения ОСШ в дБ, по оси ординат – средние значения вероятности битовой ошибки в логарифмическом масштабе

Fig. 4. Dependence of the bit error probability when receiving a DBPSK radio signal from the SNR in the communication channel: the abscissa is the SNR in dB, the ordinate is the average values of the bit error probability in the logarithmic scale

Очевидно, что тенденция увеличения требуемого ОСШ, обеспечивающего допустимую вероятность битовой ошибки, при повышении скорости передачи

информации сохраняется для всех видов манипуляции. Однако сравнение полученных результатов позволяет заключить, что среди всех рассмотренных видов манипуляции DBPSK обладает наименьшей помехоустойчивостью. Несмотря на худшую из всех отмеченных, помехоустойчивость сигнала с дифференциальной фазовой манипуляцией имеет преимущества перед тем же BPSK в том, что передается лишь скачок фазы и исчезает необходимость в определении истинного значения начальной фазы, однако ошибки, возникающие при передаче такого сигнала по каналу связи на фоне шумов и помех, склонны к «размножению».

На рис. 5 представлены графики зависимости среднего значения вероятности битовой ошибки при приеме BPSK, QPSK, 8-PSK и DBPSK радиосигналов от ОСШ в канале связи при скорости передачи 1600 Бод.

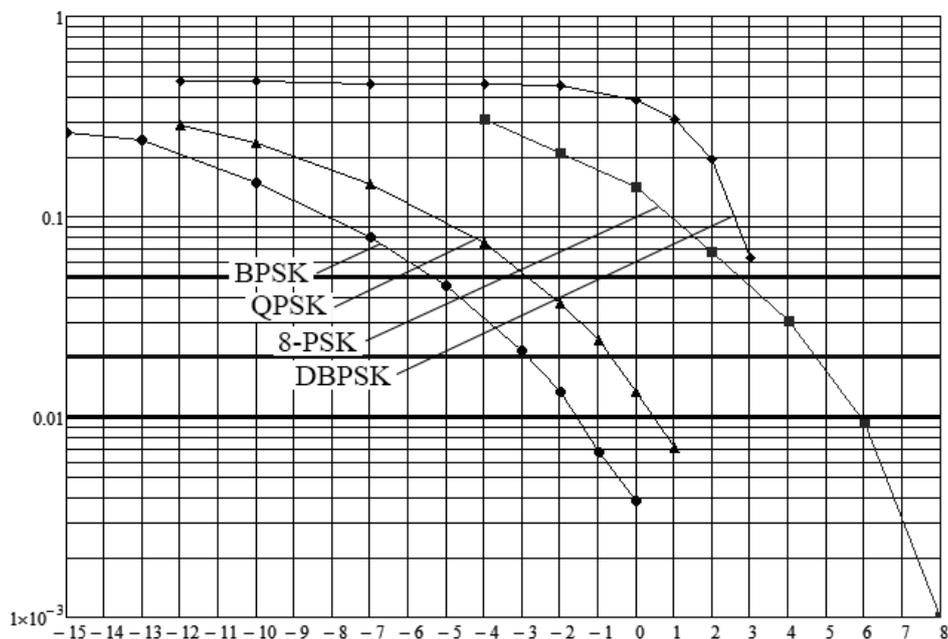


Рис. 5. Зависимость вероятности битовой ошибки при приеме BPSK, DBPSK, QPSK и 8-PSK радиосигналов от ОСШ в канале связи при заданной скорости передачи 1600 Бод: по оси абсцисс отложены значения ОСШ в дБ, по оси ординат – средние значения вероятности битовой ошибки в логарифмическом масштабе
 Fig. 5. Dependence of the bit error probability when receiving BPSK, DBPSK, QPSK and 8-PSK radio signals from SNR in the communication channel at a given transmission rate of 1600 Baud: the abscissa is the SNR in dB, the ordinate is the average values of the bit error probability in the logarithmic scale

Таким образом, были подтверждены известные теоретические положения о взаимосвязи скорости передачи, ОСШ и вероятности появления ошибок в канале радиосвязи. Анализ построенных графических зависимостей на рис. 5 наглядно демонстрирует, что наилучшей помехоустойчивостью обладает радиосигнал с двухпозиционной фазовой манипуляцией, далее следуют радиосигналы с четырех- и восьмипозиционной фазовыми манипуляциями, что также сопровождается

повышением скорости передачи информации, так как увеличивается число бит, передаваемых за один и тот же символичный интервал, а затем – обладающий наилучшей помехоустойчивостью радиосигнал с дифференциальной двоичной фазовой манипуляцией.

Исследования подтвердили адекватность известных теоретических положений о помехоустойчивости радиосигналов с фазовой манипуляцией [6]. Результаты исследований, а также разработанная лабораторная установка найдут применение при сравнительной оценке помехоустойчивости канала радиосвязи с использованием стандартных и перспективных запатентованных систем передачи информации в рамках морской подвижной службы при приеме фазоманипулированных радиосигналов.

Работа выполнена в соответствии с техническим заданием на НИР в рамках государственного задания на НИОКР, регистрационный номер АААА-А16-116041410168-3, по теме: «Разработка программного комплекса по оценке качества цифрового канала связи морской подвижной службы».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зубарев, Ю. Б. Цифровая обработка сигналов – информатика реального времени / Ю. Б. Зубарев, В. В. Витязев, В. П. Дворкович. – Москва: Российское научно-техническое общество техники, электроники и связи имени С. А. Попова. – 1999 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dsps.ru/elmaterials/artic99-13.pdf> (дата обращения: 04.2017)
2. Маркелов, М. А. Новые сигналы GNSS и перспективы их использования в бортовом оборудовании ГА / М. А. Маркелов [Электронный ресурс]. – Москва: Интернавигация № 8. 2008. – URL: http://www.atminst.ru/up_files/markeldoklad.pdf (дата обращения: 04.2017)
3. Приложение № 2 к решению ГКРЧ от 23 августа 2010 г. № 10-08-08 Основные технические характеристики абонентских станций спутниковой связи системы подвижной спутниковой связи ИНМАРСАТ [Электронный ресурс]. – Москва: Государственная комиссия по радиочастотам. – 2010. – URL: <http://www.minsvyaz.ru/ru/documents/3975/> (дата обращения: 02.2017)
4. Теория и практика цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс]: Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK). Дифференциальная BPSK (DBPSK). – URL: <http://www.dsplib.ru/content/bpsk/bpsk.html> (дата обращения: 04.2017)
5. Теория и практика цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс]: Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK). – URL: <http://www.dsplib.ru/content/qpsk/qpsk.html> (дата обращения: 04.2017)
6. Проакис, Дж. Цифровая связь / под. ред Д. Д. Кловского; пер. с англ. – Москва: Радио и связь, 2000. – 800 с. [Proakis J.G. Digital Communications. New York, McGraw-Hill, 1995. 800 p.]

REFERENCES

1. Zubarev Y. B., Vityazev V. V., Dvorkovich V. P. Tsifrovaya obrabotka signalov – informatika real'nogo vremeni [Digital processing of signals – Realtime informatics]. Russian scientific and technical society of radio technics, electronics and communications by name A. S. Popov, Moscow, 1999, available at: <http://www.dsps.ru/elmaterials/artic99-13.pdf> (accessed: April 2017).
2. Markelov M. A. Novye signaly GNSS i perspektivy ikh ispol'zovaniya v bortovom oborudovanii GA [New GNSS signals and the prospects of their use in the onboard equipment]. *Internavigation*, Moscow, 2008, no. 8, available at: http://www.atminst.ru/up_files/markeldoklad.pdf (accessed April 2017).
3. Prilozhenie № 2 k resheniju GKRC h ot 23 avgusta 2010 g. № 10-08-08 “Osnovnye tehniczeskie harakteristiki abonentskih stancij sputnikovoj svjazi sistemy podvizhnoj sputnikovoj svjazi INMARSAT” [Appendix No. 2 to the decision of the State Television and Radio Company of August 23, 2010 No. 10-08-08 The main technical characteristics of the satellite communication stations of the system of mobile satellite communication INMARSAT]. Moscow, State Commission for Radio Frequencies. 2010, available at: <http://www.minsvyaz.ru/ru/documents/3975/> (accessed: February 2017).
4. Teorija i praktika cifrovoj obrabotki signalov. Signaly s dvoichnoj fazovoj manipuljaciej (BPSK). Differencial'naja BPSK (DBPSK) [Theory and practice of digital signal processing. Signals with binary phase manipulation (BPSK). Differential BPSK (DBPSK)]. Available at: <http://www.dsplib.ru/content/bspk/bspk.html> (accessed: April 2017).
5. Teorija i praktika cifrovoj obrabotki signalov. Kvadrurnaja fazovaja manipuljacija (QPSK) [Theory and practice of digital signal processing. Quadrature phase manipulation (QPSK)]. Available at: <http://www.dsplib.ru/content/qpsk/qpsk.html> (accessed: April 2017)
6. Proakis J. G. Digital Communications. New York, McGraw-Hill, 1995. 800 p. (Russ. Ed.: D. D.Klovsky, B. I. Nikolaev. Moscow, Radio and Communication. 2000, 800 p.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волхонская Елена Вячеславовна – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; доктор технических наук, доцент; зав. кафедрой судовых радиотехнических систем; E-mail: volkhonskaya_e@mail.ru

Volkhonskaya Elena Vyacheslavovna – Baltic Fishing Fleet State Academy; Doctor of Technical Sciences, Assistant professor; Head of the Department of ship radio engineering systems; E-mail: volkhonskaya_e@mail.ru

Коротей Евгений Владимирович – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота; зав. кафедрой теоретических основ радиотехники; E-mail: eugeny_korotey@mail.ru

Korotey Evgenii Vladimirovich – Baltic Fishing Fleet State Academy;
Head of the Department of; E-mail: eugeniy_korotey@mail.ru

Власова Ксения Валерьевна – Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота; кандидат физико-математических наук;
доцент кафедры теоретических основ радиотехники; E-mail: p_ksenia@mail.ru

Vlasova Kseniya Valeryevna – Baltic Fishing Fleet State Academy;
PhD in Physical-Mathematical Sciences; Assistant professor at the Department
of the theory of radio engineering; E-mail: p_ksenia@mail.ru

Рушко Маргарита Владимировна – Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота; аспирант кафедры судовых радиотехнических систем;
E-mail: margarita_rushko@inbox.ru

Rushko Margarita Vladimirovna – Baltic Fishing Fleet State Academy;
post-graduate student; Department of ship radio engineering systems;
E-mail: margarita_rushko@inbox.ru

УДК 551.553.21 (265.5)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Л. И. Мезенцева, А. С. Федулов

CLIMATE TRENDS OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION
IN THE FAR EAST REGION

L. I. Mezentseva, A. S. Fedulov

В работе исследуются параметры атмосферной циркуляции над прибрежными районами Дальнего Востока во второй половине XX – начале XXI вв. Для объективной оценки этих параметров рассчитаны индексы: усредненные нормированные значения атмосферного давления и геопотенциальной высоты по выделенным районам Дальнего Востока и нормированные разности атмосферного давления между смежными районами суши и моря. Прослеживая многолетний ход муссонных индексов (стандартизованной разности атмосферного давления), можно выявить, что в период исследования интенсивность муссонной циркуляции в прибрежной зоне Дальнего Востока ослабевала: как летняя, так и зимняя фазы муссона. Основной причиной ослабления летней фазы является деградация циклонической активности над Азией. Азиатская и амурская депрессии в последние десятилетия были менее активны по отношению к 50–60-м гг. прошлого столетия. Начало периода ослабления приходится на 1968 г., носит характер скачка от стадии обострения муссона к состоянию, близкому к среднему многолетнему с незначительными отклонениями в отдельные годы от нормы (лишь изредка индексы отклоняются от нормы более чем на одно стандартное отклонение). В последние годы XX в. и начале XXI в. ослаблению летнего муссона способствовал слабый антициклогенез над Охотским морем и прилегающими акваториями Тихого океана. В холодное полугодие состояние сибирского максимума в 90-х гг. прошлого века и начале нового тысячелетия оценивается как близкое к норме или слабее обычного, атмосферное давление над бассейном р. Лены также ниже средних многолетних значений. Эти процессы способствовали ослаблению зимней барической напряженности на Дальнем Востоке. Алеутская депрессия, несмотря на активное развитие, зачастую занимала невыгодное для развития муссона восточное положение относительно среднего многолетнего.

циркуляция атмосферы, муссон, депрессия, антициклон, бассейн, давление, индекс, климатическая тенденция

The paper deals with the study of the parameters of the atmospheric circulation over the coastal regions of the Far East in the second half of the 20th and the beginning of the 21st centuries are studied. For objective estimation of the atmospheric circulation

parameters the following indices are calculated: averaged normalized values of atmospheric pressure and geopotential height for selected regions of the Far East and normalized atmospheric pressure differences between adjacent areas of land and sea. Tracing the long-term course of monsoon indices (standardized atmospheric pressure difference), it can be revealed that during the study period the intensity of monsoon circulation in the coastal zone of the Far East was decreasing; both summer and winter phases of the monsoon fell. The main reason for the weakening of the summer monsoon phase is the degradation of cyclonic activity over Asia. The Asian and Amur depression in the last decades were less active in relation to the 50-60th years of the last century. The beginning of the weakening period is in 1968, it has the character of a jump from the stage of monsoon exacerbation to a state close to the average multiyear one with insignificant deviations in some years from the norm (only occasionally the indices deviate from the norm by more than one standard deviation). In the last years of the 20th century and the beginning of the 21st, the weakening of the summer monsoon was facilitated by a weak anticyclogenesis over the Sea of Okhotsk and the adjacent waters of the Pacific Ocean. In the cold half-year, the state of the Siberian maximum in the 90s of the last century and the beginning of the new millennium is estimated as close to normal or weaker than usual, the atmospheric pressure above the Lena basin is also below the average multiyear values. These processes contributed to the weakening of winter pressure in the Far East. The Aleutian depression, despite its active development, often occupied the eastern position, unprofitable for the development of the monsoon, relative to the average perennial.

atmospheric circulation, monsoon, depression, anticyclone, basin, pressure, index, climatic trend

ВВЕДЕНИЕ

В работе оцениваются изменения атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке, в том числе над дальневосточными морями, во второй половине XX – начале XXI вв. Выявленные тенденции атмосферной циркуляции во многом позволяют объяснить современные изменения гидрометеорологического режима в регионе: повышение зимних и летних температур воздуха над бассейном Амура, в Приморском крае, на Сахалине и в Японии, уменьшение летнего количества осадков над бассейном Амура, отдельными районами Охотского моря, на севере Китая [1, 2].

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Для объективной оценки параметров атмосферной циркуляции были рассчитаны некоторые индексы: усредненные нормированные значения атмосферного давления и геопотенциальной высоты по выделенным районам, нормированные разности атмосферного давления между смежными районами (индексы, подобные SOI – Southern Oscillation Index). Исходными данными для расчета индексов послужили данные реанализа NCEP/NCAR. Характеристики и упрощенные алгоритмы к расчету индексов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики индексов атмосферной циркуляции
Table 1. Atmospheric circulation indices characteristics

Индекс циркуляции атмосферы	Исходные данные в узлах сетки	Алгоритм расчета	Регион
Стандартизованное среднее значение	Давление на уровне моря; геопотенциальная высота изобарической поверхности 700 гПа	Значение усреднялось за месяц и по району, нормировалось относительно стандартного отклонения; за период 1971–2000 гг.	1. Бассейн Амура – 45–55° с. ш., 115–130° в. д. 2. Северный отрог северо-тихоокеанского антициклона – 40–50° с. ш., 150–170° в. д. 3. Азиатская депрессия – 30–40° с. ш., 85–100° в. д. 4. Западный отрог северо-тихоокеанского антициклона – 30–40° с. ш., 150–170° в. д.
Стандартизованная разность атмосферного давления	Давление на уровне моря	Разность стандартизованных аномалий между смежными районами суши и океана, нормированная на стандартное отклонение разности	1. Между районами Бассейн Амура и Северный отрог северо-тихоокеанского антициклона – северная пара 2. Между районами Азиатская депрессия и Западный отрог северо-тихоокеанского антициклона – южная пара

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Чередование полей давления определенного знака с устойчивым их преобладанием от сезона к сезону создает на Дальнем Востоке и над дальневосточными морями особый тип циркуляции – муссонный. Синоптические процессы при этом характеризуются ярко выраженной сезонностью, но находятся в определенном согласии с общепланетарными факторами.

В развитии летнего дальневосточного муссона принято выделять две стадии [3, 4]. Первая продолжается с апреля по июнь. Поддерживается активным антициклогенезом над Охотским морем и понижением давления над бассейном Амура.

В первой стадии муссон представляет собой очень холодное влажное морское воздушное течение. В период второй стадии (это период примерно с июля по сентябрь) усиливается меридиональная компонента переноса воздуха. Северо-тихоокеанский субтропический максимум хорошо развит, часто смещен к западу и занимает большую часть акватории океана. Депрессия над Азией находится на пике развития. Вовлекаемый в муссонную циркуляцию влажный, очень теплый субтропический воздух поступает на континент с южными, юго-западными ветрами. Вторая стадия муссона характеризуется обильными дождями. В прибрежной зоне Японского и Охотского морей и в целом на юго-востоке Азии максимум осадков в годовом ходе приходится именно на июль-август.

Прослеживая многолетний ход муссонных индексов (стандартизованной разности атмосферного давления) вблизи дальневосточного побережья, можно

видеть, что во второй половине XX в. наблюдалось ослабление интенсивности летнего дальневосточного муссона, в особенности его второй фазы. Напряженность между барическими парами – амурской депрессией и Северным отрогом северотихоокеанского антициклона и азиатской депрессией и Западным отрогом северотихоокеанского антициклона – ослабевала. Начало периода ослабления приходится на 1968 г., носит характер скачка от стадии обострения муссона к состоянию, близкому к среднему многолетнему с незначительными отклонениями в отдельные годы от нормы (лишь изредка индексы отклоняются от нормы более чем на 1σ – одно стандартное отклонение).

Ослабление летней стадии муссона демонстрируется на рис. 1 в виде многолетнего хода стандартизованной разности аномалий атмосферного давления между северной барической парой за период май-август (отрицательные значения индекса соответствуют усилению летней барической напряженности, положительные – ее ослаблению).

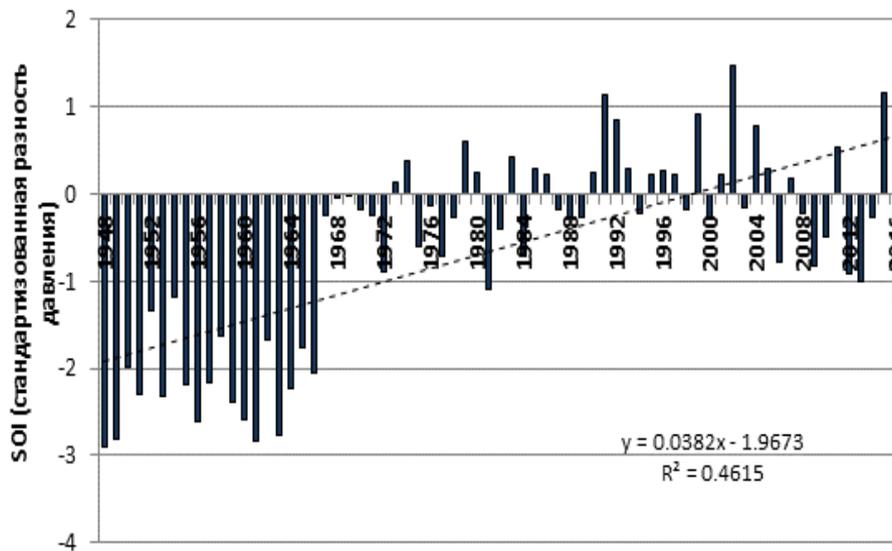


Рис. 1. Стандартизованная разность аномалий атмосферного давления, усредненная за май-август, между амурской депрессией и Северным отрогом северотихоокеанского антициклона

Fig. 1. Standardized atmosphere pressure anomaly difference between Amur depression and North Pacific anticyclone northern spur averaged for May-August

Ослабление летней барической напряженности в муссонных районах определялось, прежде всего, деградацией летней дальневосточной и азиатской депрессий (рис. 2, 3); эти процессы продолжались и в начале XXI в. Полученные выводы согласуются с результатами исследований, изложенными в работах [2, 5, 6].

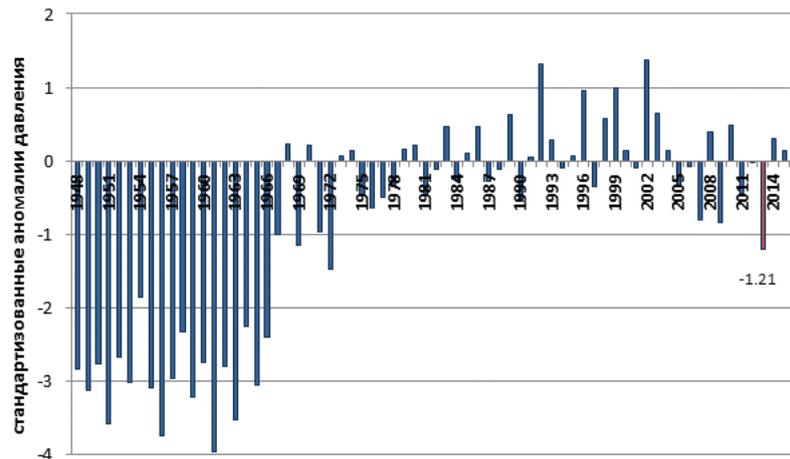


Рис. 2. Многолетний ход стандартизованных усредненных значений атмосферного давления в области амурской депрессии (45–55° с. ш., 115–130° в. д.) в мае-августе

Fig. 2. Atmosphere pressure perennial standardized averaged values in the Amur depression area (45–55°N 115–130°E) for May-August

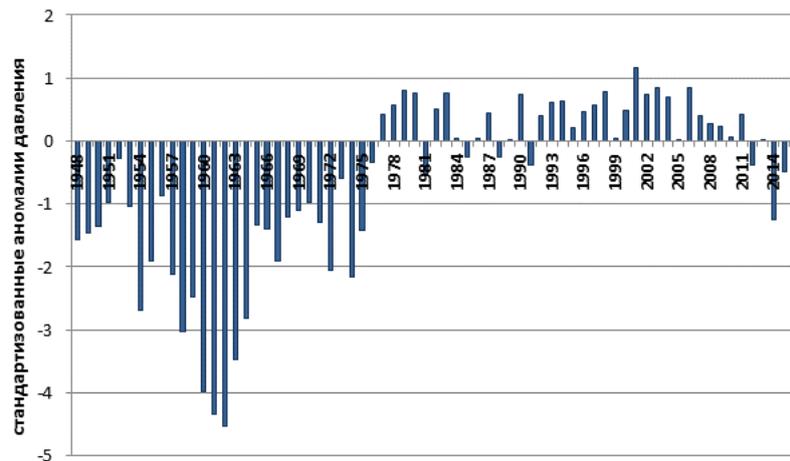


Рис. 3. Многолетний ход стандартизованных усредненных значений атмосферного давления в области азиатской депрессии (30–40° с. ш., 85–100° в. д.) в мае-августе

Fig. 3. Atmosphere pressure perennial standardized averaged values in the Asian depression area (30–40° N 85–100° E) for May-August

Процессы антициклогенеза над Охотским морем и прилегающими районами океана, ответственные за интенсивность летней муссонной циркуляции, не столь однозначны, имеют большую частоту изменчивости, чем процессы летнего циклогенеза над материком.

Здесь же следует отметить, что летние сезоны 2012 и 2013 гг. с высокой долей вероятности можно считать началом периода усиления летнего муссона. Амурская и азиатская депрессии, а вслед за этим и интенсивность выноса воздуха

с моря на сушу, приобрели черты, характерные для этих явлений в 50–60 гг. прошлого века.

В холодное полугодие благодаря характерному расположению барических пар – континентальная часть занята обширным антициклоном, а океаническая – циклоном или серией циклонов, все прибрежные территории находятся в зоне больших барических и термических градиентов обратной направленности по отношению к теплому полугодию. Создается циркуляция, благоприятная для стока холодного сухого воздуха с континента, преобладают ветры северных, северо-западных и западных направлений (с континента), количество осадков и влажность в непосредственной близости к матерiku незначительны. Таково проявление зимней стадии муссона.

В холодное полугодие состояние сибирского максимума в 90-х гг. прошлого века и начале нового тысячелетия оценивается как близкое к норме или слабее обычного [7]; атмосферное давление над бассейном р. Лены также ниже средних многолетних значений [8]. Ослабление антициклогенеза над материком способствовало ослаблению зимней фазы муссона на Дальнем Востоке. Алеутская депрессия, несмотря на активное развитие, зачастую занимала невыгодное восточное положение относительно среднего многолетнего положения [9].

На рис. 4 демонстрируется многолетний ход стандартизованной разности аномалий атмосферного давления между районами Азии в бассейне Амура и районами северо-западной части Тихого океана за период декабрь-март. В холодное полугодие при характерном распределении атмосферного давления положительные значения муссонного индекса говорят в пользу усиления зимней барической напряженности, отрицательные – о её ослаблении. Здесь использованы районы, по которым рассчитаны летние индексы, что не в полной мере характеризует процессы зимней муссонной циркуляции.

Из данных рис. 4 следует, что с середины 60-х гг. зимняя барическая напряженность в умеренных широтах ослабевала и устойчивых тенденций к её обострению не наблюдается до настоящего времени.

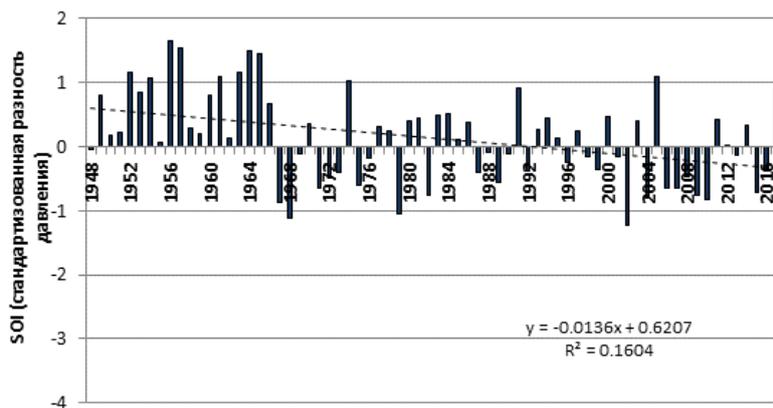


Рис. 4. Стандартизованная разность аномалий атмосферного давления между районами Азии (бассейн Амура) и районами северо-западной части Тихого океана за период декабрь-март

Fig. 4. Standardized atmosphere pressure anomaly difference between Asian and Northwestern Pacific ocean for December-March

ВЫВОДЫ

Обобщая материалы, полученные в работе, можно заключить следующее. Во второй половине XX в. в регионе, в том числе над Японским и Охотским морями, отмечался процесс ослабления муссонной циркуляции. Это относится к обеим стадиям летнего дальневосточного муссона и зимней фазе муссона. Ослабление летней барической напряженности в муссонных районах определялось деградацией азиатской и летней дальневосточной депрессий, начиная с 1968 г. В последние годы XX и начале XXI в. этому способствовал слабый антициклогенез над Охотским морем и прилегающими акваториями Тихого океана.

В холодное полугодие состояние сибирского максимума в 90-х гг. прошлого века и начале нового тысячелетия оценивается как близкое к норме или слабее обычного, атмосферное давление над бассейном Лены также ниже средних многолетних значений. Эти процессы способствовали ослаблению зимнего муссона на Дальнем Востоке. Алеутская депрессия, несмотря на активное развитие, зачастую занимала невыгодное для развития муссона восточное относительно среднего многолетнего положение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мещенина, Л. А. Климатические изменения и колебания стока Амура / Л. А. Мещенина, П. В. Новороцкий, В. И. Пономарев // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 4. – С. 44–54.
2. Yihui Ding et al. Weakening of the Asian Summer Monsoon and Its Impact on the Precipitation Pattern in China / Yihui Ding et al. // International Journal of Water Resources Development. – 2010. – [Vol. 26](#), [I. 3](#), pp. 423–439.
3. Сорочан, О. Г. Некоторые особенности муссонной циркуляции Восточной Азии / О. Г. Сорочан // Труды ГГО. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. – Вып. 70. – С. 92–108.
4. Лисогурский, Н. И. Распространение муссона над Восточной Азией и степень его устойчивости / Н. И. Лисогурский, А. З. Петричев // Метеорология и гидрология – 1980. – № 5. – С. 54–59.
5. Тунеголовец, В. П. Интенсивность циклогенеза во второй половине XX столетия / В. П. Тунеголовец // Труды ДВНИГМИ. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – Вып. 151. – С. 140–153.
6. Шатилина, Т. А. Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2009 гг. / Т. А. Шатилина, Г. И. Анжина // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 167. – С. 146–159.
7. Василевская, Л. Н. Сезонные и многолетние изменения параметров сибирского антициклона / Л. Н. Василевская, Т.М. Журавлева, А.Н. Манько // Труды ДВНИГМИ. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2002. – Вып. 150. – С. 87–102.

8. Плотников, В. В. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах: моногр. / В. В. Плотников, Л. И. Мезенцева, В. А. Дубина. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – 164 с.
9. Глебова, С. Ю. Циклоническая деятельность над Азиатско-Тихоокеанским регионом зимой и ее влияние на термические условия дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана / С. Ю. Глебова // *Метеорология и гидрология*. – 2011. – № 10. – С. 35–43.

REFERENCES

1. Meshchenina L. A., Novorotskiy P. V., Ponomarev V. I. Klimaticheskie izmeneniya i kolebaniya stoka Amura [Climatic changes and fluctuations in the flow of Amur]. *Vestnik DVO RAN*, 2007, no. 4, pp. 44–54.
2. Yihui Ding et al. Weakening of the Asian Summer Monsoon and Its Impact on the Precipitation Pattern in China. *International Journal of Water Resources Developmen*, 2010, vol. 26, I. 3, pp. 423–439.
3. Sorochan O. G. Nekotorye osobennosti mussonnoy tsirkulyatsii Vostochnoy Azii [Some features of the monsoon circulation over the East Asia]. *Tr. GGO*, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1957, vol. 70, pp. 92–108.
4. Lisogurskiy N. I., Petrichev A. Z. Rasprostranenie mussona nad Vostochnoy Aziey i stepen' ego ustoychivosti [Monsoon distribution over East Asia and degree of its stability]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1980, no. 5, pp. 54–59.
5. Tunegolovets V. P. Intensivnost' tsiklogeneza vo vtoroy polovine XX stoletiya [Intensity of cyclogenesis in the second half of the XX century]. *Tr. DVNIGMI*, Vladivostok, Dal'nauka, 2009, vol. 151, pp. 140–153.
6. Shatilina T. A., Anzhina G. I. Izmenchivost' intensivnosti dal'nevostochnogo mussona v 1948–2009 gg. [Change in the intensity of the Far Eastern monsoon in 1948-2009]. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 167, pp. 146–159.
7. Vasilevskaya L. N., Zhuravleva T. M., Man'ko A. N. Sezonnnye i mnogoletnie izmeneniya parametrov sibirskogo antitsyklona [Seasonal and long-term changes in the parameters of the Siberian anticyclone]. *Tr. DVNIGMI*, Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 2002, vol. 150, pp. 87–102.
8. Plotnikov V. V., Mezentseva L. I., Dubina V. A. Tsirkulyatsiya atmosfery nad Dal'nim Vostokom i ee otrazhenie v ledovykh protsessakh [Atmospheric circulation over the Far East and its reflection in ice processes]. Vladivostok, Dal'nauka, 2015, 164 p.
9. Glebova S. Yu. Tsiklonicheskaya deyatel'nost' nad Aziatsko-Tikhookeanskim regionom zimoy i ee vliyanie na termicheskie usloviya dal'nevostochnykh morey i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana [Cyclonic activity over the Asia-Pacific region in winter and its influence on the thermal conditions of the Far Eastern seas and the northwestern part of the Pacific Ocean]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2011, no. 10, pp. 35–43.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мезенцева Людмила Ивановна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); кандидат географических наук; доцент кафедры «Судовождение»; E-mail: LMezenceva@ferhri.ru

Mezentseva Lyudmila Ivanovna – Far Eastern Technical Fisheries University (Vladivostok); PhD in Geographic sciences, Associate professor of the Department of Navigation; E-mail: LMezenceva@ferhri.ru

Федулов Александр Сергеевич – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); аспирант кафедры «Судовождение»; E-mail: fjor7a@gmail.com

Fedulov Alexander Sergeevich – Far Eastern Technical Fisheries University (Vladivostok); post-graduate student of the Department of Navigation; E-mail: fjor7a@gmail.com

УДК 004.7:519.872:519.23

ВЫВОД УРАВНЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С
ДИФфуЗИОННОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВХОДНОГО ПОТОКА И НУЛЕВЫМ
КОЭФФИЦИЕНТОМ СНОСА

Д. Б. Прокопьева, Т. А. Жук, Н. И. Головко

DERIVATION OF EQUATIONS FOR QUEUING SYSTEMS WITH INPUT
STREAM DIFFUSION INTENSITY AND ZERO DRIFT COEFFICIENT

D. B. Prokopieva, T. A. Zhuk, N. I. Golovko

Аналитическими моделями информационных сетей и их отдельных элементов являются системы массового обслуживания (СМО). В данной работе строится математическая модель этой системы в виде системы уравнений относительно нестационарных и стационарных характеристик числа заявок в СМО. Рассматривается СМО с одним обслуживающим прибором, экспоненциальным обслуживанием, конечной или бесконечной емкостью накопителя. На вход поступает дважды стохастический пуассоновский поток заявок с диффузионной интенсивностью с упругими границами. Интервалы времени между соседними появлениями заявок имеют показательное распределение со случайным параметром, являющимся диффузионным процессом с коэффициентом сноса, равным нулю, и коэффициентом диффузии b . Время обслуживания заявок имеет показательное распределение с параметром μ . Диффузионный процесс $\lambda(t)$ и параметр μ являются интенсивностями входного потока и обслуживания соответственно. Для вывода уравнений относительно плотности диффузионного процесса и характеристик СМО применяется динамика Колмогорова. В первой части статьи в теореме 1 показан вывод уравнений для плотности интенсивности входного потока в нестационарном режиме. Получены начальные и краевые условия. Вывод этих уравнений осуществлен через уравнения для полумарковской цепи, аппроксимирующей диффузионный процесс. В результате предельного перехода полумарковская цепь переходит в диффузионный процесс с нулевым коэффициентом сноса и коэффициентом диффузии b . В теореме 2 приведены уравнения для плотности интенсивности входного потока в стационарном режиме. Во второй части работы представлены уравнения для характеристик числа заявок СМО с конечным и бесконечным накопителем. Рассмотрены начальные и краевые условия. Уравнения для нестационарных характеристик числа заявок выведены в третьей теореме. Построены уравнения для внутренних и граничных точек. Уравнения для характеристик числа заявок в стационарном режиме представлены в четвертой теореме.

система массового обслуживания, уравнения относительно характеристик СМО, диффузионная интенсивность, нестационарный и стационарный режим

Analytical models of information networks and their separate elements are the queuing system (QS). In this work a mathematical model of the queuing system (QS) is being developed as a set of equations regarding non-stationary and stationary characteristics of applications number. The QS with one serving device, exponential service, as well as the final or infinite store is under consideration. Twice stochastic Poisson flow of applications with diffusive intensity with elastic borders arrives at the input. Time intervals between the next emergence of applications have indicative distribution with the casual parameter being diffusive process with the drift coefficient equal to zero and coefficient of diffusion b . Time of handling applications has indicative distribution with μ parameter. Diffusive process $\lambda(t)$ and parameter μ are intensity of the input stream and service respectively. Kolmogorov's dynamics is applied to derivation of equations concerning characteristics of the QS. In the first part of article, derivation of the equations for density of the input stream intensity in the non-stationary mode is shown in theorem 1. Entry and boundary conditions are received. Derivation of equations is carried out through the equations for the semi-Markov chain approximating diffusive process. As a result of limit transition, the semi-Markov chain turns into a diffusive process with zero coefficient of demolition and coefficient of diffusion b . In theorem 2 the equations for density of the input stream intensity are given in the stationary mode. In the second part of work, the equations for characteristics of QS applications with the final and infinite store are presented. Entry and boundary conditions are considered. The equations for non-stationary characteristics of applications number are developed in the third theorem. The equations for internal points and for boundary points are constructed. The equations for characteristics of applications number in the stationary mode are presented in the fourth theorem.

queuing systems, equations for QS characteristics, diffusive intensity, non-stationary and stationary mode

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование информационных сетей – актуальная техническая и научная проблема. Аналитическими моделями сети в целом и отдельных ее элементов являются, соответственно, сети и системы массового обслуживания. Вопросы моделирования СМО в информационных сетях исследуются в теории массового обслуживания [1 - 3].

В работах [4, 5] показано, что в силу специфики потока сообщений на узлах локальных и глобальных компьютерных сетей моделями web-узлов в сети Интернет служат системы массового обслуживания с диффузионной интенсивностью входного потока, моделями библиотечных серверов являются СМО со скачкообразной интенсивностью входного потока.

В данной работе строится математическая модель СМО с диффузионной интенсивностью входного потока относительно нестационарных и стационарных характеристик числа заявок.

Рассмотрим СМО с одним обслуживающим прибором, экспоненциальным обслуживанием с параметром μ , емкостью накопителя $N_0 \leq \infty$. На вход СМО поступает дважды стохастический пуассоновский поток заявок, интенсивность которого $\lambda(t)$ представляет собой диффузионный процесс с нулевым

коэффициентом сноса $a=0$ и коэффициентом диффузии b . Случайный процесс $\lambda(t)$ принимает значения на интервале $[\alpha, \beta]$ с упругими границами [6].

Введем обозначения. Пусть $Q_k(t, x) = P\{v(t) = k, x < \lambda(t) < x + dx\} / dx$, где $v(t)$ – число заявок в СМО в момент t ; $q_k(x) = P\{v = k, x < \lambda < x + dx\} / dx$, где v – число заявок в СМО и λ – интенсивность входного потока в стационарном режиме, $Q_k(t, x)$, $q_k(x)$ – характеристики числа заявок, $k \geq 0$; $f(t, x) = P\{x < \lambda(t) < x + dx\} / dx$ – нестационарная плотность интенсивности входного потока $\lambda(t)$; $f(x) = P\{x < \lambda < x + dx\} / dx$ – стационарная плотность λ , $x \in [\alpha, \beta]$.

Цель данной работы – вывод уравнений относительно характеристик числа заявок $Q_k(t, x)$, $q_k(x)$ с применением динамики Колмогорова [7].

1. Уравнения для плотности диффузионного процесса

Используя динамику Колмогорова, получим уравнения для плотности $f(t, x)$ диффузионного процесса $\lambda(t)$. Справедлива теорема 1.

Теорема 1. Нестационарная плотность $f(t, x)$ диффузионного процесса $\lambda(t)$ с нулевым коэффициентом сноса a и коэффициентом диффузии b удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial f(t, x)}{\partial t} = \frac{b}{2} \frac{\partial^2 f(t, x)}{\partial x^2} \quad (1)$$

с начальным условием $f(0, x) = f_0(x)$ и краевыми условиями $f'(t, \alpha) = 0$, $f'(t, \beta) = 0$.

Доказательство. Рассмотрим полумарковскую цепь $\lambda_{n,m}(t)$, аппроксимирующую диффузионный процесс. Определим следующую однородную полумарковскую цепь $\lambda_{n,m}(t)$, непрерывную справа в точках разрыва. Дискретное пространство состояний $\lambda_{n,m}(t)$ представляет собой равномерную сетку: $\omega_m = \{x_i : \alpha = x_0 < x_1 < \dots < x_m = \beta, x_{i+1} - x_i = \Delta x, 0 \leq i \leq m-1\}$. Изменения процесса $\lambda_{n,m}(t)$ происходят через интервалы времени Δt в моменты t_1, t_2, \dots . Обозначим через $\lambda_n = \lambda_{n,m}(t_n + 0)$, $n \geq 0$, вложенную марковскую цепь с дискретным временем.

Вероятности переходов $p_{ij} = P\{\lambda_{n+1} = x_j | \lambda_n = x_i\}$ определим следующим образом: $p_{ij} = 1/2$, $j = i-1, j = i+1$; $p_{ij} = 0$, $j \neq i-1, j \neq i+1$. Введем вероятности состояния марковской цепи λ_n в n -й момент времени в состоянии x_k : $p(n, k) = P\{\lambda_n = x_k\}$.

Уравнения, связывающие $p(n, k)$, для внутренних точек x_k , $1 \leq k \leq m-1$, получаем по формуле полной вероятности:

$$p(n+1, k) = \sum_{j=0}^m p(n, j) \cdot p_{jk} = \frac{1}{2} p(n, k-1) + \frac{1}{2} p(n, k+1), \quad 1 \leq k \leq m-1.$$

Далее строим разностную схему:

$$\frac{p(n+1, k) - p(n, k)}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta^2 x}{\Delta t} \frac{p(n, k-1) - 2p(n, k) + p(n, k+1)}{\Delta^2 x}.$$

Обозначим $x = k \cdot \Delta x$, $t = n \cdot \Delta t$, тогда от функции целочисленных аргументов $p(n, k)$ можно перейти к рассмотрению некоторой функции $f(t, x)$ непрерывных аргументов t, x : $p(n, k) = p\left(\frac{t}{\Delta t}, \frac{x}{\Delta x}\right) = f(t, x)$, причем $p(n+1, k) = f(t + \Delta t, x)$, $p(n, k \pm 1) = f(t, x \pm \Delta x)$. Учитывая введенные обозначения, имеем:

$$\frac{f(t + \Delta t, x) - f(t, x)}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta^2 x}{\Delta t} \frac{f(t, x - \Delta x) - 2f(t, x) + f(t, x + \Delta x)}{\Delta^2 x}. \quad (2)$$

Осуществляя в (2) предельный переход при $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$, получим дифференциальное уравнение с частными производными (1) во внутренних точках $x \in (\alpha, \beta)$. Очевидно, что данный предельный переход возможен только при условии

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} \Delta^2 x / \Delta t = const = b. \quad (3)$$

Будем считать, что (3) выполняется в силу условия $\Delta^2 x / \Delta t = b$.

Уравнение (1) представляет собой уравнение диффузии относительно плотности $f(t, x)$ (уравнение Фоккера-Планка или прямое уравнение Колмогорова) диффузионного процесса $\lambda(t)$. В результате предельного перехода полумарковская цепь $\lambda_{n,m}(t)$ переходит в диффузионный процесс $\lambda(t)$ с нулевым коэффициентом сноса и коэффициентом диффузии b . Действительно, для коэффициента сноса a имеем [3, 6]:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \int_{|y-x| < \varepsilon} (y-x) F(t, x; t + \Delta t, y) dy = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \left(-\Delta x \frac{1}{2} + \Delta x \frac{1}{2} \right) = 0,$$

для коэффициента диффузии b [3, 6]:

$$b = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \int_{|y-x| < \varepsilon} (y-x)^2 F(t, x; t + \Delta t, y) dy = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \left(\Delta^2 x \frac{1}{2} + \Delta^2 x \frac{1}{2} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta^2 x}{\Delta t}.$$

Рассмотрим теперь уравнение для $p(n, k)$ в граничной точке x_0 . По формуле полной вероятности

$$p(n+1, 0) = \frac{1}{2} p(n, 0) + \frac{1}{2} p(n, 1). \quad (4)$$

Перейдем в (4) к функциям непрерывных аргументов: $f(t + \Delta t, \alpha) = \frac{1}{2} f(t, \alpha) + \frac{1}{2} f(t, \alpha + \Delta x)$. Применяя формулу Тейлора с остаточным членом в форме Пеано в окрестности точки (t, α) и приводя подобные, получим

$$\frac{\partial f(t, \alpha)}{\partial t} \Delta t + o(\Delta t) = \frac{1}{2} \frac{\partial f(t, \alpha)}{\partial x} \Delta x + o(\Delta x). \quad (5)$$

Разделим обе части равенства (5) на Δx . Выполняя предельный переход в уравнении (5) при $\Delta x \rightarrow 0$, учитывая, что $\Delta t = \frac{\Delta^2 x}{b}$, имеем: $\frac{\partial f(t, \alpha)}{\partial x} = 0$.

Применяя аналогичные рассуждения к уравнению (5) в точке (t, β) , получим: $\frac{\partial f(t, \beta)}{\partial x} = 0$. Теорема доказана.

Следующая теорема вытекает из того, что в стационарном режиме $\frac{\partial f(t, x)}{\partial t} = 0$.

Теорема 2. Стационарная плотность $f(x)$ диффузионного процесса $\lambda(t)$ с нулевым коэффициентом сноса a и коэффициентом диффузии b удовлетворяет уравнению $f''(x) = 0$ с краевыми условиями $f'(\alpha) = 0$, $f'(\beta) = 0$.

2. Уравнения для характеристик числа заявок СМО типа М/М/1/№0

Обозначим через $N = N_0 + 1$ – максимальное число заявок в СМО, через v_n – число заявок в СМО в момент времени t_n .

Теорема 3. Нестационарные характеристики числа заявок $Q_l(t, x)$ удовлетворяют следующей системе дифференциальных уравнений:

$$l = 0: \quad \frac{\partial Q_0(t, x)}{\partial t} = -xQ_0(t, x) + \mu Q_1(t, x) + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 Q_0(t, x)}{\partial x^2}, \quad (6)$$

$$0 < l < N: \quad \frac{\partial Q_l(t, x)}{\partial t} = xQ_{l-1}(t, x) - (x + \mu)Q_l(t, x) + \mu Q_{l+1}(t, x) + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 Q_l(t, x)}{\partial x^2}, \quad (7)$$

$$l = N: \quad \frac{\partial Q_N(t, x)}{\partial t} = xQ_{N-1}(t, x) - \mu Q_N(t, x) + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 Q_N(t, x)}{\partial x^2} \quad (8)$$

с краевыми условиями:

$$\frac{\partial Q_l(t, \alpha)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q_l(t, \beta)}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

с начальным условием: $Q_l(0, x) = \pi_l(x)$, причем выполняется условие нормировки:

$$\sum_{l=0}^N Q_l(t, x) = f(t, x). \quad (10)$$

Доказательство. Определим вероятности состояний: $p(l, n, k) = P\{v_n = l, \lambda_n = x_k\}$. Получим уравнения, связывающие $p(l, n, k)$, во внутренних и граничных точках интервала изменения процесса λ_n . Для внутренних точек $x_k \in (\alpha, \beta)$ при $0 < l < N$ по формуле полной вероятности имеем:

$$p(l, n + 1, k) = \sum_i \sum_j P\{v_{n+1} = l, \lambda_{n+1} = x_k \mid v_n = i, \lambda_n = x_j\} \cdot p(i, j, k). \quad (11)$$

Обозначим через $p_{jk}(i, l) = P\{v_{n+1} = l, \lambda_{n+1} = x_k \mid v_n = i, \lambda_n = x_j\}$, $v_r(\Delta t)$ – вероятность поступления r заявок на интервале длиной Δt , через $\varpi_r(\Delta t)$ – вероятность обслуживания r заявок за промежуток времени Δt . Заметим, что $v_r(\Delta t)$, $\varpi_r(\Delta t)$ принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} v_0(\Delta t) &= 1 - x_j \Delta t + o(\Delta t), \quad \varpi_0(\Delta t) = 1 - \mu \Delta t + o(\Delta t), \quad v_1(\Delta t) = x_j \Delta t + o(\Delta t), \\ \varpi_1(\Delta t) &= \mu \Delta t + o(\Delta t) \quad v_r(\Delta t) = o(\Delta t), r \geq 2, \quad \varpi_r(\Delta t) = o(\Delta t), r \geq 2. \end{aligned} \quad (12)$$

Переходные вероятности получим по формуле полной вероятности согласно (12): $p_{jk}(i, l) = 0$ при условии $|j - k| > 1$; при условии $|j - k| \leq 1$ имеем:

$$\begin{aligned} p_{jk}(l-1, l) &= \frac{1}{2} \sum_{r \geq 0} v_{r+1}(\Delta t) \varpi_r(\Delta t) = \frac{1}{2} x_j \Delta t + o(\Delta t), \\ p_{jk}(l, l) &= \frac{1}{2} \sum_{r \geq 0} v_r(\Delta t) \varpi_r(\Delta t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} (x_j + \mu) \Delta t + o(\Delta t), \\ p_{jk}(l+1, l) &= \frac{1}{2} \sum_{r \geq 0} v_r(\Delta t) \varpi_{r+1}(\Delta t) = \frac{1}{2} \mu \Delta t + o(\Delta t), \\ p_{jk}(i, l) &= o(\Delta t), |i - l| > 1, |j - k| \leq 1; \quad p_{jk}(i, l) = o(\Delta t), |j - k| > 1, \\ p_{jk}(0, 0) &= 1 - x_j \Delta t + o(\Delta t), \quad |j - k| \leq 1, \quad p_{jk}(N, N) = 1 - \mu \Delta t + o(\Delta t), |j - k| \leq 1. \end{aligned}$$

Таким образом, из (11) получим:

$$\begin{aligned} p(l, n+1, k) &= \frac{1}{2} \Delta t (p(l-1, n, k-1)x_{k-1} + p(l-1, n, k+1)x_{k+1}) + \\ &+ \frac{1}{2} (p(l, n, k-1)(1 - (x_{k-1} + \mu)\Delta t) + p(l, n, k+1)(1 - (x_{k+1} + \mu)\Delta t)) + \\ &+ \frac{1}{2} \mu \Delta t (p(l+1, n, k-1) + p(l+1, n, k+1)). \end{aligned} \quad (13)$$

Сгруппируем слагаемые в (13) и разделим обе части равенства на Δt :

$$\begin{aligned} \frac{p(l, n+1, k) - p(l, n, k)}{\Delta t} &= \frac{1}{2} \frac{\Delta^2 x}{\Delta t} \frac{p(l, n, k+1) - 2p(l, n, k) + p(l, n, k-1)}{\Delta^2 x} - \\ &- \frac{1}{2} (p(l, n, k-1)(x_k - \Delta x + \mu) + p(l, n, k+1)(x_k + \Delta x + \mu)) + \frac{1}{2} \mu (p(l+1, n, k+1) + \\ &+ p(l+1, n, k-1)) + \frac{1}{2} (p(l-1, n, k-1)(x_k - \Delta x) + p(l-1, n, k+1)(x_k + \Delta x)). \end{aligned} \quad (14)$$

Перейдем в данном уравнении от функций дискретных аргументов к функциям непрерывных аргументов: $p(l, n, k) = p(l, \frac{t}{\Delta t}, \frac{x}{\Delta x}) = Q_l(t, x)$. При $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$, при условии, что $\Delta t = \Delta^2 x / b$, получим из (14) уравнение (7) для внутренних точек $x \in (\alpha, \beta)$. Аналогичным образом выводятся уравнения (6), (8) для $l = 0, l = N$.

Для получения уравнений в граничной точке $x_0 = \alpha$ также используем формулу полной вероятности. В случае $0 < l < N$ получим:

$$\begin{aligned} p(l, n+1, 0) &= \frac{1}{2} \Delta t (p(l-1, n, 0)\alpha + p(l-1, n, 1)(\alpha + \Delta x)) + \frac{1}{2} (p(l, n, 0)(1 - (\alpha + \mu)\Delta t) + \\ &+ p(l, n, 1)(1 - (\alpha + \Delta x + \mu)\Delta t)) + \frac{1}{2} \mu \Delta t (p(l+1, n, 0) + p(l+1, n, 1)). \end{aligned}$$

Перейдем в последнем уравнении к функциям непрерывных аргументов:

$$Q_l(t + \Delta t, \alpha) = \frac{1}{2} \Delta t (Q_{l-1}(t, \alpha) \alpha + Q_{l-1}(t, \alpha + \Delta x) (\alpha + \Delta x)) + \frac{1}{2} (Q_l(t, \alpha) (1 - (\alpha + \mu) \Delta t) + Q_l(t, \alpha + \Delta x) (1 - (\alpha + \Delta x + \mu) \Delta t)) + \frac{1}{2} \mu \Delta t (Q_{l+1}(t, \alpha) + Q_{l+1}(t, \alpha + \Delta x)).$$

Применим к слагаемым в последнем уравнении формулу Тейлора с остаточным членом в форме Пеано в окрестности точки (t, α) :

$$Q_l(t, \alpha) + \frac{\partial Q_l(t, \alpha)}{\partial t} \Delta t + o(\Delta t) = \frac{1}{2} \alpha \Delta t Q_{l-1}(t, \alpha) + \frac{1}{2} (\alpha + \Delta x) \Delta t Q_{l-1}(t, \alpha) + \frac{1}{2} (\alpha + \Delta x) \Delta t \Delta x \frac{\partial Q_{l-1}(t, \alpha)}{\partial x} + \frac{1}{2} (1 - (\alpha + \mu) \Delta t) Q_l(t, \alpha) + \frac{1}{2} (1 - (\alpha + \Delta x + \mu) \Delta t) Q_l(t, \alpha) + \frac{1}{2} (1 - (\alpha + \Delta x + \mu) \Delta t) \Delta x \frac{\partial Q_l(t, \alpha)}{\partial x} + \frac{1}{2} \mu \Delta t Q_{l+1}(t, \alpha) + \frac{1}{2} \mu \Delta t Q_{l+1}(t, \alpha) + \frac{1}{2} \cdot \mu \Delta t \Delta x \frac{\partial Q_{l+1}(t, \alpha)}{\partial x} + o(\Delta t).$$

В полученном уравнении приведем подобные, разделим обе части равенства на Δx и возьмем предел при $\Delta x \rightarrow 0$, в итоге получим $\frac{\partial Q_l(t, \alpha)}{\partial x} = 0$.

Аналогично выводятся уравнения для $l = 0$, $l = N$ и второй граничной точки $x_n = \beta$ $\partial Q_l(t, \beta) / \partial x = 0$, т.е. (9). Условие нормировки (10) следует из формулы полной вероятности:

$$f(t, x) = P\{x < \lambda(t) < x + dx\} / dx = \sum_{l=0}^N P\{v(t) = k, x < \lambda(t) < x + dx\} / dx = \sum_{l=0}^N Q_l(t, x).$$

Теорема доказана.

Следующая теорема вытекает из того, что в стационарном режиме

$$\frac{\partial}{\partial t} Q_l(t, x) = 0.$$

Теорема 4. Стационарные характеристики числа заявок $q_l(x)$ удовлетворяют системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{b}{2} q_0''(x) - x q_0'(x) + \mu q_1(x) = 0, \quad \frac{b}{2} q_N''(x) + x q_{N-1}'(x) - \mu q_N(x) = 0, \\ \frac{b}{2} q_l''(x) + x q_{l-1}'(x) - (x + \mu) q_l'(x) + \mu q_{l+1}(x) = 0, \quad 0 < l < N$$

с граничными условиями: $q_l'(\alpha) = 0$, $q_l'(\beta) = 0$.

Причем выполняется условие нормировки: $\sum_{l=0}^N q_l(x) = f(x)$.

Таким образом, с использованием динамики Колмогорова построены краевые задачи для нестационарной и стационарной плотности диффузионного процесса, нестационарных и стационарных характеристик числа заявок в дважды стохастическом СМО с диффузионной интенсивностью входного потока, экспоненциальным обслуживанием, одним обслуживающим прибором и конечным накопителем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коузи, Д. Компьютерные сети. Книга 2: Networking Essentials / Д. Коузи, Р. Пит, М. Спортак. – Киев: Диасофт, 1999. – 452 с.
2. Левин, М. Компьютерные сети. Устройство, подключение и использование / М. Левин. – Москва: Оверлей, 2000. – 416 с.
3. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва: Наука, 1966. – 432 с.
4. Исследование моделей систем массового обслуживания в информационных сетях / Н. И. Головки [и др.] // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2008. – Т. XI, № 2(34). – С. 50-64.
5. Головки, Н. И. Применение моделей СМО в информационных сетях: моногр. / Н. И. Головки, В. В. Катрахов. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2008. – 272 с.
6. Баруча-Рид, А. Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения / А. Т. Баруча-Рид. – Москва: Наука, 1969. – 512 с.
7. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок: пер. с англ. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман. – Москва: Машиностроение, 1979. – 432 с.

REFERENCES

1. Kouzi D., Pit R., Sportak M. *Komp'yuternyye seti. Kniga 2: Networking Essentials* [Computer networks. Book 2: Networking Essentials]. Kiyev, Diasoft, 1999, 452 p.
2. Levin M. *Komp'yuternyye seti. Ustroystvo, podklyucheniye i ispol'zovaniye* [Computer networks. Device, connection and use]. Moscow, Overley, 2000, 416 p.
3. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. *Vvedeniye v teoriyu massovogo obsluzhivaniya* [Introduction to the theory of mass service]. Moscow, Nauka, 1966, 432 p.
4. Golovko N. I., Karetnik V. O., Tanin V. E., Safonyuk I. I. Issledovaniye modeley sistem massovogo obsluzhivaniya v informatsionnykh setyakh [Research of models of systems of mass service in information networks]. *Sibirskij zhurnal industrialnoy matematiki*, 2008. vol. 11, no. 2(34), pp. 50-64.
5. Golovko N. I., Katrakhov V. V. *Primeneniye modeley SMO v informatsionnykh setyakh* [Application of QS models in information networks]. Vladivostok, izdatelstvo TGEU, 2008, 272 p.
6. Barucha-Rid A. T. *Elementy teorii markovskikh protsessov i ikh prilozheniya* [Elements of the theory of Markov processes and their application]. Moscow, Nauka, 1969, 512 p.
7. Kleinrock L. *Queueing systems*. New York, Wiley, 1975. 432 p. (Russ. Ed.: Kleinrock L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya*). Moscow, Mashinostroyeniye, 1979, 432 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Прокопьева Дина Борисовна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; старший преподаватель кафедры «Высшая математика»; E-mail: prokopievad@yandex.ru

Prokopieva Dina Borisovna – Far Eastern State Technical Fishery University; senior teacher of the Department of higher mathematics; E-mail: prokopievad@yandex.ru

Жук Татьяна Алексеевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Высшая математика»; E-mail: Tatyana_zhukdv@mail.ru

Zhuk Tatyana Alekseevna – Far Eastern State Technical Fishery University; associate professor of the Department of higher mathematics; E-mail: Tatyana_zhukdv@mail.ru

Головко Николай Иванович – Дальневосточный федеральный университет; доктор технических наук, профессор кафедры алгебры, геометрии и анализа; E-mail: ygolovko@yahoo.com

Golovko Nikolay Ivanovich – Far Eastern Federal University; doctor of technical sciences, professor of the department of algebra, geometry and analysis; E-mail: ygolovko@yahoo.com

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 639.2/.3:330.22(06)

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГНОЗОВ
ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

А. В. Корякина, В. А. Теплицкий

ON THE NEED FOR DEVELOPMENT OF INVESTMENT FORECASTS
FOR FISHERIES GROWTH

A. V. Koryakina, V. A. Teplitskiy

В статье отмечается, что при прогнозировании развития рыбной отрасли необходимо учитывать несовпадение в перспективном периоде целей развития рыбного хозяйства с точки зрения государства и частных собственников и необходимость достижения компромисса в их реализации. Тогда прогноз развития отрасли на перспективу по объемным показателям может быть выстроен на базе рекомендуемых государством нормативов потребления рыбных товаров населением. В этом случае потребность в инвестиционных ресурсах является величиной производной и определяется в процессе проведения прогностических расчетов, содержание которых описано в статье. При прогнозировании в краткосрочной перспективе предполагается, что объем возможных инвестиционных ресурсов определяется на основании намечаемых объемов модернизации судов и береговых мощностей и их строительства как уже осуществляемых предприятиями, так и в соответствии с бизнес-планами, реализация которых намечена в пределах этого периода. Исходя из этих же посылок определяются источники финансирования и потребность в залоговых ресурсах для кредитования с учетом выданных федеральным правительством и регионами гарантий под получаемые кредиты и операции финансового лизинга. Сделан вывод, что сложность такого подхода заключается в сборе вышеуказанной необходимой информации на всех предприятиях бассейна или хотя бы на основных предприятиях. При разработке долгосрочных прогнозов имеют место взаимосвязанные зависимости: объемные показатели прогноза зависят от наличия инвестиционных ресурсов, а последние - от объемных показателей. Как две крайние точки прогноза можно принять пессимистический и оптимистический варианты. В рамках этого диапазона будет находиться весь возможный спектр стратегий развития отрасли. В статье приведен перечень действий, необходимый для составления обоих вариантов прогноза, а также дана характеристика возможных источников финансирования развития основного капитала на предприятиях рыбной промышленности.

рыбохозяйственный комплекс, инвестиционные ресурсы, инвестиционный прогноз, залоговые ресурсы, финансовый лизинг, государственная поддержка

The article notes that when forecasting the development of the fishing industry, it is necessary to take into account the discrepancy in the long-term period of the

development objectives of fisheries from the point of view of the state and private owners as well as the need to reach a compromise in their implementation. Then the industry's forecast for the future in terms of volume indicators can be based on the standard consumption rate of fish products recommended by the state. In this case, the need for investment resources is a derived value and is determined by carrying out forecast calculations, the content of which is described in the article. When forecasting in the short term, it is assumed that the volume of possible investment resources is determined on the basis of the planned volumes of modernization of ships and onshore facilities and their construction, both already carried out by enterprises, and in accordance with business plans, the implementation of which is scheduled within this period. Based on the same assumptions, sources of financing and the need for collateral resources for lending are determined, taking into account guarantees issued by the government and regions for loans and financial leasing operations. It is concluded that the complexity of such an approach is to collect the above-mentioned necessary information at all basin enterprises or at least at the main enterprises. When developing long-term forecasts, there are interrelated dependencies: volume indicators of the forecast depend on the availability of investment resources, and the latter - on the volume indicators. As the two extreme points of the forecast you can take a pessimistic and optimistic version. Within this range, the entire range of development strategies for the industry will be located. The article contains a list of actions necessary to compile both variants of the forecast, as well as a description of possible funding sources for the development of fixed capital in fishery enterprises.

fishery complex, investment resources, investment forecast, collateral resources, financial leasing, state support

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью современной отрасли рыбного хозяйства является то, что субъектами ее хозяйственной деятельности являются в подавляющем большинстве частные предприятия и предприниматели. Доля государственного сектора сравнительно невелика. Поэтому при прогнозировании развития отрасли приходится учитывать, что цели развития рыбного хозяйства в перспективном периоде с точки зрения государства и частных собственников могут не совпадать. Если государство целью развития отрасли может ставить удовлетворение потребности населения России и ее народного хозяйства в рыбной продукции в пределах заранее установленных на прогнозируемый период нормативов, то для частных собственников, как правило, целями развития являются максимизация эффективности собственного капитала, достижение устойчивой конкурентоспособности, минимизация рисков, завоевание определенных сегментов рынка и т. д. [1]. При этом достижение целей развития, которые ставит перед отраслью рыбного хозяйства государство, может быть достигнуто за счет вовлечения в сферу промысла менее рентабельных в процессе производства видов водных биологических ресурсов. В этом случае налицо противоречие между интересами государства и частных собственников. Компромисс между ними может быть достигнут только в том случае, если государство для реализации своих целей создаст условия и для достижения (или хотя бы частичного достижения) целей частных собственников.

Способы согласования таких противоречивых интересов могут быть различны: регулирование промышленных квот на вылов (добычу) ВБР, налоговые льготы, участие государства в формировании инвестиционных ресурсов предприятий и т. д. Если сумма получаемых от государства частным собственником льгот позволяет ему достигнуть поставленных своих целей развития, то цели государства и собственника можно считать согласованными. В результате прогноз развития отрасли рыбного хозяйства на перспективу по объемным показателям (по производству рыбной продукции и ее реализации на российском рынке) может быть выстроен на базе рекомендуемых государством нормативов потребления рыбных товаров населением. В этом случае потребность в инвестиционных ресурсах является величиной производной и определяется в процессе проведения прогностических расчетов. Естественно, что прежде всего должна быть определена величина собственных инвестиционных ресурсов предприятий и как разность между потребностью в инвестиционных ресурсах и собственными инвестиционными ресурсами предприятий - потребность в государственной финансовой поддержке.

Если участие государства в формировании инвестиционных ресурсов отрасли отсутствует или недостаточно, то и прогнозируемые объемные показатели в данном периоде не могут быть достигнуты. Они должны прогнозироваться заново исходя из ограниченной возможности государственной финансовой поддержки. Альтернативой последней может быть возможность привлечения средств населения или иных частных инвесторов для приобретения акций рыбопромышленных предприятий.

Таким образом, весь цикл прогностических расчетов повторяется в связи с наличием обратной связи между объемными показателями прогноза и наличием финансовых ресурсов для их достижения.

Все вышеуказанное относится к средне- и долгосрочным прогнозам. Что касается краткосрочных прогнозов (на один-два года), то инвестиционные ресурсы на столь короткий срок, а также объемы ввода в эксплуатацию рыбопромысловых судов и производственных мощностей должны быть уже определены к началу разработки прогноза, так как лаг капитальных вложений [2] с учетом продолжительности оформления сделок по ним примерно равен такому прогнозируемому периоду. В результате процесс формирования объемных показателей в краткосрочных прогнозах является вторичным, а первичным - баланс действующих производственных мощностей и флота с учетом их списания и намечаемый в прогнозируемом периоде ввод в эксплуатацию вновь созданных производственных мощностей и флота.

Прогнозирование потребности в инвестиционных ресурсах необходимо как в краткосрочной, так (в особенности) в средне- и долгосрочной перспективе.

РАЗРАБОТКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГНОЗОВ В КРАТКОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

Рассмотрим методический подход к прогнозированию инвестиционных ресурсов в краткосрочной перспективе. Наличие и направления использования этих ресурсов для рыбопромыслового бассейна в ближайшие два года определяются на основании намечаемых объемов модернизации судов и береговых мощностей и их строительства, как уже осуществляемых

предприятиями, так и в соответствии с бизнес-планами, реализация которых намечена в пределах этого периода. Исходя из этих же посылок определяются и источники финансирования: собственные, заемные и обеспечиваемые государством. Одновременно определяется и потребность в залоговых ресурсах для кредитования с учетом выданных федеральным правительством и регионами гарантий под получаемые кредиты и операции финансового лизинга [3].

Необходимость в общей сумме гарантий и залоговых ресурсов в краткосрочном периоде на предприятиях, как правило, определена.

В соответствии с намечаемым планом списания судов и производственных мощностей, их поступлением и степенью использования прогнозируются на первые два года объемы добычи, производства продукции и финансовые потоки. В последующем эти спрогнозированные показатели включаются в средне- и долгосрочные прогнозы в начальном их периоде.

Сложность такого подхода заключается в сборе вышеуказанной необходимой информации на всех или хотя бы на основных предприятиях бассейна. Зачастую указанная информация для разработчиков прогноза недоступна как по причинам ее конфиденциальности, так и из-за многочисленности хозяйствующих субъектов. Она более доступна в том случае, если источниками финансирования намечаемых капитальных вложений являются федеральный или региональные бюджеты или если кредитование или операции финансового лизинга осуществляются под правительственные или региональные гарантии. Такая информация должна быть выявлена, а намечаемые капитальные вложения включены в состав программных мероприятий. Однако в большинстве случаев инвестиционные ресурсы формируются за счет собственных или заемных средств, а также средств, вкладываемых в развитие тех или иных предприятий населением и стратегическими инвесторами.

Источниками получения такой информации могут быть:

- бизнес-планы и заявки, предъявляемые предприятиями бассейна для получения квот на вылов (добычу) живых ресурсов под строительство новых судов;
- информация о дополнительных эмиссиях акций акционерными обществами при увеличении основного капитала;
- информация об изменении и перераспределении уставного капитала обществ с ограниченной ответственностью между участниками по месту регистрации этих предприятий.

Указанные источники информации, тем не менее, во-первых, не дают полного представления о вкладываемых в развитие основного капитала инвестиционных ресурсах, во-вторых, в большинстве случаев не отражают вложений в модернизацию производства и, в-третьих, дополнительные эмиссии акций и увеличение уставного капитала обществ с ограниченной ответственностью могут вообще не производиться, а в балансах предприятий изменяться лишь сумма основных фондов и дополнительного капитала.

В этом случае методический подход к прогнозированию потребности в инвестиционных ресурсах в краткосрочном периоде ничем не будет отличаться от методического подхода к прогнозированию на средне- и долгосрочную перспективу с тем лишь различием, что государственные и региональные

источники финансирования капитальных вложений на первые два года, как правило, уже определены.

В значительной степени отличается методический подход к разработке инвестиционных прогнозов на средне- и долгосрочную перспективу.

РАЗРАБОТКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГНОЗОВ НА СРЕДНЕ- И ДОЛГОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

На исходной позиции разработки прогноза развития рыбного хозяйства страны в целом, каждого рыбопромыслового бассейна или отдельного региона прогнозист сразу же сталкивается с наличием взаимосвязанных зависимостей: объемные показатели прогноза (вылов, производство продукции, финансовые потоки) зависят от наличия инвестиционных ресурсов, а последние - от объемных показателей. Как две крайние точки прогноза можно принять:

- ориентацию на формирование инвестиционных ресурсов частных и унитарных предприятий за счет их собственных средств и заемных средств в рамках имеющихся залоговых ресурсов и лишь для развития государственного сектора отрасли (науки, образования, рыбоводства, рыбоохраны) - за счет инвестиций из бюджетных источников (в установившейся практике эту точку принято называть «пессимистическим прогнозом»);

- в «оптимистическом прогнозе» - ориентацию на формирование инвестиционных ресурсов при наличии государственной финансовой поддержки в объемах, необходимых для выполнения поставленной государством цели достижения необходимых норм потребления рыбной продукции.

В рамках этого диапазона будет находиться весь возможный спектр стратегий развития отрасли, и окончательный вариант стратегии может быть определен только после соизмерения потребности в привлечении государственных и частных инвестиционных ресурсов для реализации «оптимистического прогноза» с реальной возможностью государственной финансовой поддержки [1].

В первом случае («пессимистический прогноз») исходя из анализа производственно-финансовой деятельности предприятий бассейнов (регионов) определяются их денежные потоки, тенденции изменений, направления расходования, а также наличие оборотного капитала и сроки его оборачиваемости, структура основного капитала и предполагаемое его списание. Также проектируется баланс действующего флота и береговых мощностей по принятым в прогнозе подпериодам (наличие на начало прогнозируемого периода, намечаемое списание, наличие на конец каждого подпериода) [4]. На основании анализа внедрения возможных инноваций выявляется возможное повышение эффективности действующего флота и береговых производственных мощностей за счет их модернизации.

На основании анализа вышеперечисленных и некоторых общих для страны показателей производятся следующие прогностические оценки:

- денежный поток на предприятиях бассейна (региона) при использовании действующего флота и производственных мощностей (допустимо в прямой пропорции) – N_i , где i - прогнозируемый период (подпериод);

- изменения денежного потока за счет модернизации флота и береговых производственных мощностей – NM_i ;

- при отсутствии централизованных оценок о предполагаемом в прогнозируемом периоде инфляционном ожидании производится анализ темпов инфляции в предпрогнозном периоде. Выявленная тенденция экстраполируется по прогнозируемым подпериодам – F_i . Очевидно, что при экстраполяции следует исходить из предположения о постепенном сокращении инфляционного ожидания (затухающая кривая, подобранная из анализа изменения уровней инфляции в предпрогнозном периоде);

- потребности пополнения оборотного капитала за счет денежного потока - D_i . При такой оценке следует исходить из того, что при наличии инфляции для простого воспроизводства собственного оборотного капитала предприятий потребуется привлечение денежных ресурсов из денежного потока, равное произведению наличия собственного оборотного капитала на начало каждого прогнозируемого подпериода - DN_i на определенное на этот подпериод инфляционное ожидание:

$$D_i = DN_i \times F_i ; \quad (1)$$

- потребности в расходах, не относимых на себестоимость продукции, Z_i . Ориентировочно они составляют 2-3 % от суммы затрат на производство продукции в каждом подпериоде.

Полученные прогностические оценки позволяют определить собственные инвестиционные ресурсы предприятий рыбного хозяйства бассейна (региона) P_i :

$$P_i = N_i + NM_i - D_i - Z_i . \quad (2)$$

При разработке «пессимистического прогноза» кроме собственных инвестиционных ресурсов предприятий целесообразно учесть и инвестиционные ресурсы стратегических инвесторов - PS_i ; хотя бы в объемах, отражающих их среднегодовые вложения в предпрогнозном периоде и продолжительность прогнозируемого периода (подпериода).

Сумма собственных инвестиционных и привлекаемых ресурсов стратегических инвесторов, а также наличие залоговых ресурсов предприятий определяют возможность привлечения заемных инвестиционных ресурсов - PZ_i .

Залоговые ресурсы предприятия зависят от ряда факторов, как минимум, от оценочной стоимости имущества предприятий, которое может быть передано в залог под обеспечение кредита или лизинговых платежей, и от ликвидности этого имущества. Однако произвести детальную оценку стоимости залогового имущества и степени его ликвидности прогнозисту практически невозможно. Поэтому такая оценка может быть только ориентировочной, примерно порядка 20-30% от остаточной стоимости основных фондов предприятий бассейна. При этом нижнюю границу приведенного интервала следует использовать для регионов, где преобладающими являются основные фонды береговых предприятий (например, для Санкт-Петербурга и Ленинградской области), а верхнюю границу - для регионов, где преобладающими являются основные фонды флота. Для вновь поступающих основных фондов этот диапазон может колебаться в пределах 40-60% от их стоимости.

Величина залоговых ресурсов изменяется в течение всего прогнозируемого периода. С одной стороны, она сокращается по мере списания и старения в прогнозируемом периоде имеющихся основных фондов, с другой – увеличивается по мере поступления новых основных фондов и их окупаемости. Сроки окупаемости вновь поступающих основных фондов при определении залоговых

ресурсов имеют большое значение, так как большинство их вводятся с использованием заемного капитала и в залоге они могут быть использованы только после погашения кредита или лизинговых платежей. Срок окупаемости можно определить ориентировочно по данным бизнес-планов, которые будут реализовываться на бассейне в прогнозируемом периоде. Если затруднительно получить такие данные, то ориентировочно средний срок окупаемости можно принять по аналогии со сроком окупаемости судов похожих типов.

В целях дальнейшего прогнозирования необходимо разработать для каждого подпериода баланс наличия, поступления, списания и амортизации основных фондов, на основе которого и определяется величина залоговых ресурсов бассейна (региона). При этом неизвестной величиной в таком балансе является поступление основных фондов. Ее можно для каждого подпериода ориентировочно принять равной $3,75 \times (P_i + PS_i)$. Причины установления такого коэффициента (3,75) будут объяснены ниже.

Как уже указывалось, величина залоговых ресурсов изменяется во времени. Кроме того, в залоге имущество находится до погашения кредита или завершения операции финансового лизинга, что практически равно сроку окупаемости. Поэтому на каждый момент остаток свободных залоговых ресурсов зависит от трех факторов: наличия залоговых ресурсов, величины ранее внесенного залога и высвобождения имущества из-под залога по мере погашения взятого кредита или операции финансового лизинга (восстановления свободных залоговых ресурсов).

Наличие залоговых ресурсов определяет верхнюю границу возможной величины заемных инвестиционных ресурсов. Она может совпадать, но может и не совпадать с потребностью в их привлечении.

Потребность в заемных инвестиционных ресурсах при недостатке собственных (включая ресурсы стратегических инвесторов) диктуется, с одной стороны, стремлением максимизировать воспроизводство основного капитала, а с другой – выбранной схемой финансирования воспроизводственного процесса. Практически в современных условиях финансового состояния рыбного хозяйства возможны две схемы финансирования воспроизводственного процесса - за счет привлечения кредитов российских и зарубежных коммерческих банков и заключения сделок финансового лизинга на поставки флота и оборудования. При выборе каждой из них одинакова потребность в собственных инвестиционных ресурсах (не менее 20 % от объема капитальных вложений), но различна потребность в залоговых ресурсах.

При осуществлении капитальных вложений с привлечением банковских кредитов величина последних может составлять до 80 % от объема капитальных вложений и залоговые ресурсы должны быть равны сумме получаемых кредитов. В результате на каждый рубль вложенных собственных ресурсов необходимо 4 руб. залоговых ресурсов.

При сделках финансового лизинга в качестве гарантии осуществления лизинговых платежей принимается до 50 % - ипотека передаваемых в аренду судов и оборудования и лишь примерно 30 % - ипотека имущества (залоговые ресурсы) лизингополучателя. В данном случае на каждый рубль вложенных собственных ресурсов необходимо 1,5 руб. залоговых ресурсов. Среднеарифметическое значение возможных капитальных затрат за счет

собственных и заемных инвестиционных ресурсов (если собственные ресурсы принять за 1) составляет: $1+(4+1,5):2=3,75$. Отсюда значение коэффициента 3,75, приведенного ранее.

Как видно из изложенного, наиболее целесообразным в условиях ограниченности собственных инвестиционных ресурсов является воспроизводство основного капитала за счет операций финансового лизинга [5]. Однако в настоящее время такая схема финансирования воспроизводства основного капитала реальна при строительстве судов и оборудования за рубежом. На отечественных судостроительных верфях и машиностроительных предприятиях отсутствуют лизинговые фонды, и строительство на них судов и оборудования в ближней и среднесрочной перспективе наиболее вероятно с привлечением банковских кредитов. Исходя из предполагаемого типового состава прогнозируемого к строительству флота и номенклатуры приобретаемого оборудования возможно достаточно точно определить, где и каким образом они будут приобретаться и, следовательно, прогнозируемые объемы операций финансового лизинга и кредитования. При этом следует отдавать предпочтение той программе строительства флота и развития берегового производства, которая в наибольшей степени отвечает интересам рыбопромышленников, так как именно за счет их собственных инвестиционных ресурсов и получаемых под залог их имущества заемных средств будет осуществляться развитие производства. При недостатке залоговых ресурсов следует рассмотреть возможности получения правительственных и региональных гарантий под кредиты банков и операции финансового лизинга. При наличии таких возможностей заемные инвестиционные ресурсы могут быть увеличены.

Таким образом, при разработке «пессимистического прогноза» вопрос, как правило, стоит не в определении потребности в инвестиционных ресурсах, а в прогнозировании возможности привлечения инвестиционных ресурсов для воспроизводства основного капитала. Этот процесс включает:

- прогнозирование объемов федеральных и региональных инвестиций для развития государственного сектора рыбного хозяйства;
- определение собственных инвестиционных ресурсов предприятий бассейна (региона);
- определение возможностей привлечения средств стратегических инвесторов;
- прогнозирование возможных объемов заемных инвестиционных ресурсов.

При составлении «оптимистического прогноза», в котором разрабатывается стратегия реализации государственных интересов в развитии отрасли рыбного хозяйства, должен быть обеспечен заданный объем производства рыбной продукции. Соответственно должна быть спрогнозирована потребность в инвестиционных ресурсах. При этом предполагается, что при недостатке собственных, привлеченных и заемных средств для реализации такой программы развития недостающие инвестиционные ресурсы будут пополнены государством частично путем прямого инвестирования за счет федерального и региональных бюджетов, частично путем предоставления льготных инвестиционных кредитов, частично за счет предоставления федеральных и региональных гарантий под банковские кредиты и операции финансового

лизинга. Выделение государством и регионами указанных средств финансирования может быть безвозмездным только для предприятий государственного сектора, для частных же предприятий они должны быть в основном возмещены в сроки окупаемости приобретаемых судов и оборудования. Естественно, что при более ускоренных темпах развития, предусматриваемых «оптимистическим прогнозом», и собственные инвестиционные ресурсы предприятий будут возрастать по сравнению с «пессимистическим» вариантом. В принципе, методический подход к прогнозированию собственных и привлеченных инвестиционных ресурсов остается таким же, что и описанный ранее. Однако последовательность прогностических оценок и, следовательно, их точность, будет иная. В начальной стадии при втором варианте определяется общая потребность в инвестиционных ресурсах и лишь затем источники их формирования. Поэтому финансовые потоки рассчитываются с меньшей вероятностью и величиной ошибки, что позволяет уточнить исходные посылки для прогнозирования собственных и заемных инвестиционных ресурсов.

Прогноз потребности в инвестиционных ресурсах разрабатывается в следующей последовательности:

- составляется по подпериодам баланс наличия и списания флота по видам и типам судов и береговых производственных мощностей, а также баланс наличия и списания основных фондов. Выявляется возможность и необходимость задержки в списании судов по истечению нормативного срока их службы;

- устанавливается разность в темпах списания основных и вспомогательных производственных мощностей по взаимосвязанным производствам (флота, судоремонтных предприятий и морских рыбных портов; консервных мощностей и мощностей по производству жестебанки; флота, береговых рыбоперерабатывающих мощностей и береговых холодильников и т. д.);

- определяются потери в вылове и в производстве рыбной продукции при списании судов по подпериодам. По добывающим судам можно ограничиться расчетом потерь в вылове, но по группам флота: крупному и большому, среднему, малому, маломерному морскому, маломерному внутренним водоемов;

- на основе прогноза научно-технического прогресса определяется возможное приращение вылова и производства рыбной продукции в результате модернизации действующих судов и береговых рыбоперерабатывающих мощностей;

- рассчитываются по подпериодам объемы вылова и производства рыбной продукции действующим флотом и рыбоперерабатывающими мощностями, причем по последним устанавливается, насколько может быть увеличено производство рыбной продукции за счет увеличения коэффициента использования производственных мощностей;

- если прогнозируемый вылов и объемы производства рыбной продукции больше, чем соответствующие показатели по действующему флоту и рыбоперерабатывающим мощностям, то определяется по подпериодам необходимость в замещении установленного дефицита добычей судами нового пополнения по группам добывающего флота (крупного и большого, среднего, малого, маломерного морского и маломерного внутренних водоемов);

- определяется необходимость в увеличении производства каждого вида рыбной продукции на вновь вводимых рыбоперерабатывающих мощностях;

- по подпериодам определяется потребность в поставках добывающего флота нового пополнения по каждой группе судов;

- определяются потребность в развитии приемно-транспортного и вспомогательного флота и необходимые для этих целей капитальные вложения и оборотные средства;

- прогнозируется потребность по подпериодам в инвестиционных ресурсах для развития морских рыбных портов и всех видов вспомогательных и обслуживающих производств;

- по предполагаемым операциям финансового лизинга за прогнозируемый период (подпериод) определяется объем ипотеки под арендуемые суда и оборудование (50 % от объема поставок);

- прогнозируется потребность в инвестиционных ресурсах для развития рыбоводного хозяйства и органов рыбохраны.

Определенные вышеприведенным способом потребности в инвестиционных ресурсах по видам флота и видам производств и хозяйств суммируются, и устанавливается общая потребность каждого бассейна (региона) в инвестиционных ресурсах для реализации «оптимистического прогноза» по прогнозируемым подпериодам и на весь период в целом.

На последующем этапе разработки прогноза (программы) необходимо определить источники финансирования развития основного капитала, а именно: собственные средства предприятий, привлеченные средства стратегических инвесторов и населения, заемные средства под заложенные ресурсы предприятий, прямые государственные и региональные инвестиции, заемные средства под правительственные и региональные гарантии.

Собственные средства предприятий и заемные средства под заложенные ресурсы предприятий на первом этапе следует предусмотреть в объеме, определенном на стадии разработки «пессимистического прогноза», а если такой вариант досконально не прорабатывался, то эти средства определяются по описанному для этого варианта прогноза методическому подходу. В последующем в соответствии с спрогнозированными в «оптимистическом варианте» финансовыми потоками бассейна (региона) определить наличие свободных остатков денежного потока в каждом подпериоде. Свободный остаток денежного потока и составят дополнительные (по сравнению с «пессимистическим вариантом») собственные инвестиционные ресурсы предприятий. Однако эти инвестиционные ресурсы будут направляться не только на развитие основного капитала, но и на расширенное воспроизводство оборотного капитала. Распределение дополнительных собственных инвестиционных ресурсов предприятий на развитие основного и оборотного капитала можно произвести в пропорции между существующим соотношением основного и оборотного капитала предприятий. Дополнительные заложенные ресурсы предприятий, а следовательно, и дополнительный заемный капитал за счет дополнительных заложенных ресурсов по вновь поставляемым основным фондам можно определить путем их сравнения между «пессимистическим прогнозом» и «оптимистическим прогнозом».

Привлеченные средства стратегических инвесторов и населения можно также предусмотреть в объеме более высоком, чем в «пессимистическом прогнозе», так как накопление основного капитала частных предприятий в

«оптимистическом прогнозе» предусматривается большими темпами и в больших масштабах. Появляется возможность и более масштабной дополнительной эмиссии акций в открытых акционерных обществах. Если исходить из получаемых нами ранее данных, то стоимость вновь поставляемых основных фондов по «оптимистическому прогнозу» примерно на 40% выше, чем в «пессимистическом прогнозе», поэтому и привлечение средств стратегических инвесторов и населения (акционеров) может быть соответственно большим. Однако непременным условием ускорения и увеличения масштабов эмиссии акций должно быть развитие фондового рынка в России и дальнейшее развития законодательства о гарантиях инвесторам.

Прямые государственные и региональные инвестиции и получение заемных инвестиционных ресурсов под правительственные и региональные гарантии в «оптимистическом прогнозе» определяются как разность между спрогнозированной потребностью в инвестиционных ресурсах и наличием собственных, привлеченных инвестиционных ресурсов и заемных ресурсов под залог имущества предприятий. Принципиальным является распределение этих ресурсов по таким категориям, как невозвратные, возвратные государственные и региональные инвестиции и правительственные и региональные гарантии.

Под невозвратными государственными и региональными прямыми инвестициями в данном случае мы подразумеваем прямые государственные и региональные капитальные вложения в развитие государственного сектора рыбного хозяйства (науки, образования, воспроизводства рыбных запасов, рыбоохраны, безопасности мореплавания, информационного обеспечения), предусматриваемые в федеральном и региональных бюджетах, а также предоставление субвенций в частный сектор рыбного хозяйства для стимулирования развития тех производств и видов деятельности, которые необходимы для государства (регионов), но некупаемы для частных предпринимателей (например, развития промысла низкорентабельных в производстве живых ресурсов, развития или сохранения производства рыбной продукции на градообразующих нерентабельных и низкорентабельных предприятиях, привлечения частных судов для выполнения исследовательских работ и организации производственной практики студентов учебных заведений и т.д.). Конкретные объекты финансовых вложений на такие цели и их объемы должны быть выявлены в процессе прогнозирования развития рыбного хозяйства по каждому подпериоду.

Возвратные государственные и региональные прямые инвестиции предполагают их осуществление за счет федерального и региональных бюджетов на возмездной основе. Такие средства могут инвестироваться в развитие государственных и муниципальных унитарных предприятий с последующим по мере окупаемости капитальных вложений возвратом их в доходы соответствующих бюджетов. Кроме того, собственных и привлеченных инвестиционных ресурсов предприятий может не хватать для стартового капитала при осуществлении операций финансового лизинга и под банковские кредиты. Российским законодательством и подзаконными актами предусмотрено, что предприятия в таких случаях должны вкладывать в развитие не менее 20 % собственных (или привлеченных) финансовых средств. Аналогичные правила существуют и при реализации операций внешнего финансового лизинга. Если для

исполнения программы развития по варианту «оптимистического прогноза» собственного и привлеченного инвестиционного капитала недостаточно для формирования стартового капитала, то он может быть сформирован за счет финансовых вложений государства или регионов в уставной капитал как частных предприятий, так и государственных (муниципальных) унитарных предприятий из федерального или региональных бюджетов, получив взамен акции или доли в уставном капитале этих предприятий. В последующем вложенные государством (регионами) средства по мере окупаемости капитальных вложений должны быть возвращены в соответствующие бюджеты, а акции и доли в уставном капитале - владельцам предприятий. В открытых акционерных обществах возвращенные государством (регионами) пакеты акций должны быть направлены в свободную распродажу через фондовые биржи, за счет чего будут формироваться их дополнительные собственные инвестиционные ресурсы.

Потребность в привлечении возвратных государственных и региональных прямых инвестициях может быть определена следующим образом:

- из спрогнозированной потребности в инвестиционных ресурсах для развития по «оптимистическому» варианту вычитается общая сумма невозвратных государственных и региональных прямых инвестиций;

- полученный результат делят на 3,75 и определяют потребность в стартовом капитале;

- из вычисленной суммы стартового капитала вычитают сумму собственных и привлеченных инвестиционных ресурсов. Полученный результат и составляет потребность в привлечении возвратных государственных и региональный прямых инвестициях в прогнозируемом периоде (подпериодах).

Для определения необходимой величины *государственных федеральных и региональных гарантий* в прогнозируемом периоде (подпериоде) из общей спрогнозированной на период (подпериод) потребности в инвестиционных ресурсах вычитают собственные и привлекаемые инвестиционные ресурсы предприятий, заемные инвестиционные ресурсы под залог имущества предприятий, ипотеку арендуемого флота и оборудования по операциям финансового лизинга, невозвратные и возвратные государственные и региональные прямые инвестиции на этот же период (подпериод).

ВЫВОДЫ

Таким образом, составление инвестиционных прогнозов развития отрасли как в краткосрочной, так и в средне- и долгосрочной перспективе необходимо для согласования интересов государства и предприятий рыбной промышленности. В соответствии с намечаемым планом списания судов и производственных мощностей, их поступлением и степенью использования прогнозируются на первые два года объемы добычи, производства продукции и финансовые потоки. В последующем эти спрогнозированные показатели включаются в средне- и долгосрочные прогнозы в начальном их периоде, которые, в свою очередь, могут быть выполнены в «пессимистическом» и «оптимистическом» вариантах. Различие их заключается в объемах предоставляемой государственной поддержки. Безусловно, более желателен оптимистический вариант, предполагающий ориентацию на формирование инвестиционных ресурсов при наличии государственной финансовой поддержки в объемах, необходимых для

выполнения поставленной государством цели достижения необходимых норм потребления рыбной продукции. По результатам проведенных прогностических расчетов потребности в инвестиционных ресурсах на развитие рыбного хозяйства России, отдельных рыбохозяйственных бассейнов и регионов и их структуры необходимо выявить реальные возможности участия государства в реализации такой программы развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, А. В. Условия развития рыбохозяйственного комплекса Калининградской области в среднесрочной перспективе / А. В. Иванов, А. Г. Мнацаканян, В. А. Теплицкий // *Финансы и кредит*. – 2012. – № 13(493). – С. 42-47.
2. Теплицкий, В. А. Прогнозирование сроков службы основных фондов (на примере рыбной промышленности) / А. В. Корякина, В. А. Теплицкий // *Балтийский экономический журнал*. – 2016. – № 2(16). – С. 109-117.
3. Корякина, А. В. Определение потребности в государственных гарантиях при заключении сделок финансового лизинга на строительство флота / А. В. Корякина // *Балтийский экономический журнал*. – 2013. – № 2(10). – С. 78-83.
4. Романов, Е. А. Планирование на предприятиях рыбной промышленности / Е. А. Романов. – Москва: Колос, 2006. – 425 с.
5. Теплицкий, В. А. Инвестиционные ресурсы рыбохозяйственного комплекса (на примере рыбохозяйственного комплекса Калининградской области: монография / А. В. Корякина, А. Г. Мнацаканян, В. А. Теплицкий; под ред. В. А. Теплицкого. – Калининград: Изд-во «КГТУ», 2014. – 97 с.

REFERENCES

1. Ivanov A. V. Mnacakanjan A. G., Teplickij V. A. Uslovija razvitija rybohozjajstvennogo kompleksa Kaliningradskoj oblasti v srednesročnoj perspective [Conditions for the development of the fishery complex in the Kaliningrad Region in the medium-term perspective]. *Finansy i kredit*, 2012, no. 13(493), pp. 42-47.
2. Teplickij V. A., Korjakina A. V. Prognozirovanie srokov sluzhby osnovnyh fondov (na primere rybnoy promyshlennosti) [Forecasting the life of fixed assets (on the example of the fishing industry)]. *Baltiiskij jekonomicheskij zhurnal*, 2016, no. 2(16), pp. 109-117.
3. Korjakina A. V. Opredelenie potrebnosti v gosudarstvennyh garantijah pri zakljuchenii sdelok finansovogo lizinga na stroitel'stvo flota [Determination of the need for state guarantees in transactions of financial leasing in construction of the fleet]. *Baltiiskij jekonomicheskij zhurnal*, 2013, no. 2(10), pp. 78-83.
4. Romanov E. A. *Ekonomika rybokhozyaystvennogo kompleksa* [Economy of the fishery complex]. Moscow, Mir, 2005, 336 p.
5. Teplitkiy V. A., Koryakina A. V., Mnatsakanyan A. G. *Investitsionnye resursy rybokhozyaystvennogo kompleksa (na primere rybokhozyaystvennogo kompleksa Kaliningradskoy oblasti)* [Investment resources of the fishery complex (by

the example of the fishery complex of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, izd-vo KGTU, 2014, 97 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корякина Анна Владимировна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры управления производством;
E-mail: a.koryakina@inbox.ru

Koryakina Anna Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate student of the Department of production management;
E-mail: a.koryakina@inbox.ru

Теплицкий Владимир Абрамович – Калининградский государственный технический университет; доктор экономических наук, профессор кафедры управления производством

Teplitskiy Vladimir Abramovich – Kaliningrad State Technical University;
Doctor of economic science, Professor of the Department of production management

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 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

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

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

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

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

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя**

использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее 7-ми источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.
2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.
2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

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

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

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

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14-16.
2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова //

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

Статья в электронном журнале

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

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

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

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

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

Диссертация или автореферат диссертации

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

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

Переводная книга

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

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

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

[7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.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. Pitaniye sibirskogo osetra Acipenser baerii Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

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

Статья, опубликованная в материалах конференций

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

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial

purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka 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*. 4th 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 – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;

- межстрочный интервал – одинарный;

- при наборе текста:

- не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;

- необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. 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 $\frac{a}{\bar{b}}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно

или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Директор издательства Г. А. Смирнова

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001

Подписано в печать 28.07.2017. Выход в свет 01.08.2017. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 27,25. Уч.-изд. л. 17,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 63