

ИЗВЕСТИЯ

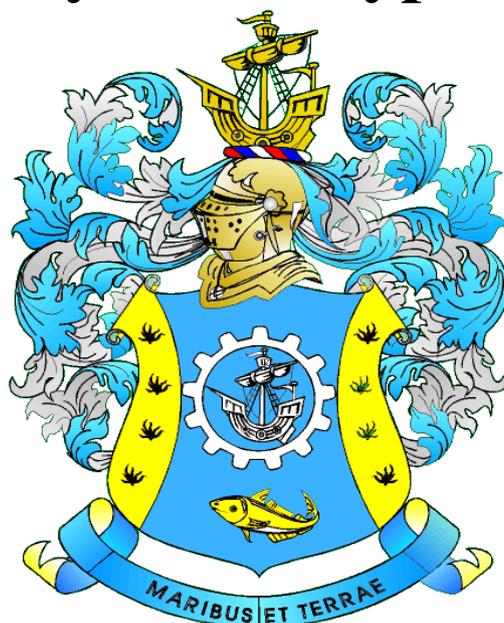
КГТУ

2018

№ 48

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., Воронежский государственный университет инженерных технологий, проректор по научной и инновационной деятельности, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств;

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

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

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

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

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

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

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

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

Тадеуш Пецух, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой утилизации отходов;

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2018



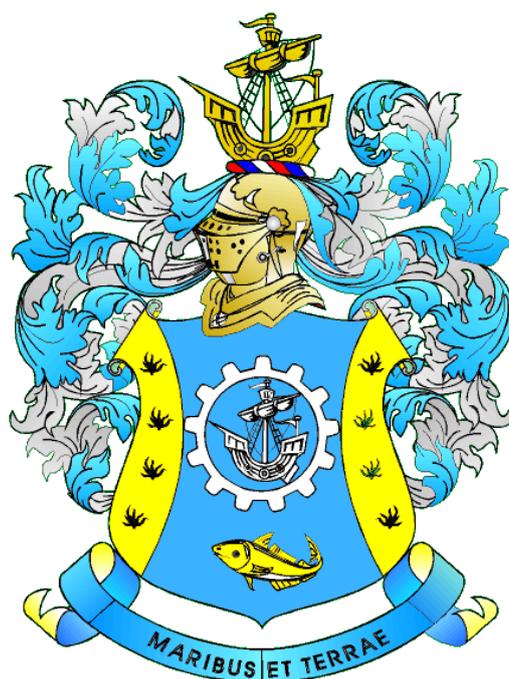
KSTU NEWS

2018

№ 48

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Альтиуль Б. А., Ермакова Т. В.</i> Численное исследование изменения глубины хода трала путем изменения длины вытравленных ваеров при двухваерной схематизации траловой системы.....	13
<i>Бочкарёва Е. В.</i> Пространственно-временное распределение мечерылоподобных рыб и пелагических акул в Атлантическом океане....	18
<i>Наумов В. А., Сулейманов С. Н.</i> Определение шероховатости русла при расчете нормативов допустимых сбросов веществ в малые водотоки.....	29
<i>Суконнов А. В., Скуратов Н. А.</i> Экспериментальное определение зависимости тягового усилия выборки трала с уловом на палубу судна от параметров системы судно – трал на модели промысловой палубы судов типа РТМ-С.....	39
<i>Чечко В. А., Чубаренко Б. В., Топчая В. Ю.</i> Влияние природных и антропогенных факторов на формирование осадочной толщи Калининградского залива Балтийского моря.....	47

Техника и технология пищевых производств

<i>Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А.</i> Математическое моделирование процесса восстановительной деформации материала и образования присоединенной каверны при резании рыбы.....	61
<i>Антипов А. В., Дугаров Ц. Б., Власенко Г. П., Данзанов В. Д.</i> Определение температуры замораживания пищевых продуктов перед сублимационной сушкой при атмосферном давлении.....	79
<i>Ейдеюс А. И., Кошелев С. В., Сластихин Ю. Н.</i> Особенности определения эффективности трубчато-пластинчатых поверхностей теплообмена.....	90
<i>Зинина О. В., Тазеддинова Д. Р.</i> Характеристика белковых обогатителей из субпродуктов.....	100
<i>Макимова С. Н., Слуцкая Т. Н., Полещук Д. В., Пономаренко С. Ю., Полещук В. И.</i> Использование биорегуляторов протеолиза растительного происхождения в технологии пресервов.....	112

Сельское хозяйство и природопользование

<i>Бедарева О. М., Троян Т. Н., Мурачёва Л. С., Кравцов Е. Г.</i> Подбор оптимального состава травосмеси и нормы высева для создания дернового покрытия в условиях северо-западного региона.....	121
--	-----

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Глазков Д. Ю.</i> Процесс сажеобразования в цилиндре дизеля и методы его моделирования.....	131
<i>Дятченко С. В., Шишло Е. О.</i> Определение основных элементов средних рыболовных судов для исключительных экономических зон.....	142
<i>Одинцов В. И.</i> Анализ методов моделирования влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на экономичность дизелей рыбопромыслового флота.....	152

Естественные и математические науки

<i>Медведев В. В., Тимофеева И. В., Еремичева В. Е.</i> Математическая модель возбужденных компонентов в ионосфере Земли.....	163
---	-----

Экономика и управление АПК

<i>Малий В. А.</i> Анализ современных методов и инструментов государственной поддержки агропромышленного комплекса.....	173
<i>Панарина Д. С.</i> К вопросу о необходимости развития товарных бирж, специализирующихся на торговле зерном, в рамках государственной поддержки и регулирования зернового рынка Российской Федерации.....	186

CONTENT

Biology, Ecology and Fishing Industry

<i>Altschul B. A., Ermakova T. V.</i> Numerical investigation of changes in depth by changing the length of the trawl warps in two – warp schematization trawl system.....	13
<i>Bochkaryova E. V.</i> Spatiotemporal distribution of swordfish and pelagic sharks in the Atlantic ocean.....	18
<i>Naumov V. A., Suleymanov S. N.</i> Determination of the riverbed roughness in calculation of standards for permissible discharges of substances to small watercourses.....	29
<i>Sukonnov A. V., Skuratov N. A.</i> Experimental determination of the dependence of the pulling force of the trawl hauling with the catch on the ship's deck on the parameters of the ship-trawl system on the model of the fishing deck of the RTM-S type vessels.....	39
<i>Chechko V. A., Chubarenko B. V., Topchaya V. Yu.</i> Influence of natural and anthropogenic factors on formation of the sediment layer of the Kaliningrad bay of the Baltic Sea.....	47

Food Production Techniques and Technology

<i>Ageev O. V., Naumov V. A., Fatykhov Ju. A.</i> Mathematical simulation of the material strain recovery process and attached cavity formation while cutting the fish.....	61
<i>Antipov A. V., Dugarov Ts. B., Vlasenko G. P., Danzanov V. D.</i> Food products freezing temperature determination prior to dehydrofreezing at atmospheric pressure.....	79
<i>Eideus A. I., Koshelev S. V., Slastikhin Yu. N.</i> Special aspects of calculating efficiency in fin-and-tube heat exchangers.....	90
<i>Zinina O. V., Tazeddinova D. R.</i> Characteristics of protein enrichers from by-products.....	100
<i>Maksimova S. N., Slutskaya T. N., Poleschuk D. V., Ponomarenko S. Yu., Poleschuk V. I.</i> Use of proteolysis bioregulators of plant origin in canned food technology.....	112

Agriculture and Nature Management

<i>Bedareva O. M., Troyan T. N., Murachyova L. S., Kravtsov E. G.</i> Selection of optimal composition of mixtures and seeding rates for establishment of sod cover in the North-West region.....	121
---	-----

Ship Building, Machinery and Power-Engineering

<i>Glazkov D. Yu.</i> The process of soot formation in a diesel cylinder and methods of its modeling.....	131
<i>Dyatchenko S. V., Shishilo E. O.</i> Determination of the basic elements of average fishing vessels for exclusive economic zones.....	142
<i>Odintsov V. I.</i> The structural and operational factors effect modeling methods analysis on the fishing fleet economy of the diesel engines	152

Earth and Mathematical Sciences

<i>Medvedev V. V., Timofeeva I. V., Eremicheva V. E.</i> Mathematical model of excited components in the Earth ionosphere.....	163
--	-----

Economy and Management of agribusiness industry

<i>Maliy V. A.</i> Analysis of modern methods and state support tools of agro-industrial complex.....	173
<i>Panarina D. S.</i> The development of commodity exchanges, which specialize in graine trade, within conditions of the state support and reguarion of the Russian grain market.....	186

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 639.2.081.177.21 (06)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБИНЫ ХОДА
ТРАЛА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ВЫТРАВЛЕННЫХ ВАЕРОВ
ПРИ ДВУХВАЕРНОЙ СХЕМАТИЗАЦИИ ТРАЛОВОЙ СИСТЕМЫ

Б. А. Альтшуль, Т. В. Ермакова

NUMERICAL INVESTIGATION OF CHANGES IN DEPTH BY CHANGING
THE LENGTH OF THE TRAWL WARPS IN TWO – WARP
SCHEMATIZATION TRAWL SYSTEM

B. A. Altschul, T. V. Ermakova

Проведены расчеты пространственного движения тралового комплекса при выборке и травлении ваеров. Вычислительные эксперименты осуществлены на базе математической модели нестационарного движения двухваерного тралового комплекса с переменной длиной вытравленных ваеров и заданных параметрах движения судна в горизонтальной плоскости.

траловый комплекс, двухваерная схематизация, выборка, травление, математическая модель

Calculations of the spatial motion of the trawl complex for the pulling and etching of the warpes are carried out. Computational experiments were carried out on the basis of a mathematical model of the nonstationary motion of a two-tier trawl complex with a variable length of towed warps and given parameters of vessel motion in the horizontal plane.

trawl complex, two-wave schematization, sampling, etching, mathematical model

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно разрабатывается математическая теория нестационарного движения тралового комплекса на базе его пространственной двухваерной схематизации [1, 2] как более адекватная реальной траловой системе и позволяющая получить представление не только о глубине хода и скорости трала (как в одноваерной схематизации [3]), но и о скоростях и глубине погружения каждой распорной доски, о пространственной траектории трала и обеих распорных досок, о расстоянии между ними и т. д. На основе этой теории уже решены многие ключевые задачи, связанные с нестационарным движением траловой системы при осуществлении маневра судна на промысле [4]. Так, в [4] проведено численное исследование динамики тралового комплекса при движении судна в горизонтальной плоскости по траектории-окружности с постоянной длиной вытравленных ваеров. Однако не меньший интерес представляют и другие типичные режимы движения. Например, выборка и травление ваеров при заданных параметрах движения судна.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВЫБОРКИ И ТРАВЛЕНИЯ
ВАЕРОВ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУХВАЕРНОЙ
ТРАЛОВОЙ СИСТЕМЫ

Принципы составления математической модели двухваерной траловой системы при ее произвольном маневре с изменяющейся длиной вытравленных ваеров рассмотрены в [5]. Положение в пространстве данной траловой системы определяется десятью обобщенными координатами, среди которых три являются зависимыми, удовлетворяющими трем уравнениям связи [1, 2]. Воспользуемся уравнениями (4) – (9) из [4], определяющими математическую модель движения двухваерного тралового комплекса с постоянной длиной вытравленных ваеров. Добавив к этим уравнениям слагаемые, учитывающие изменение длины ваеров, и присоединив два уравнения Лагранжа второго рода, отвечающие независимым обобщенным координатам – длинам ваеров, получим систему из десяти дифференциальных уравнений второго порядка. Интегрируя данную систему уравнений при заданном законе движения судна, можно определить все интересующие параметры движения тралового комплекса в любой момент времени.

В рамках вычислительных экспериментов был произведен расчет выборки и травления ваеров при движении судна по прямолинейной траектории с постоянной скоростью.

Для расчетов была взята траловая система со следующими параметрами: $s = 91$ м; $P_d = 12000$ Н; $P_T = 12260$ Н; $q = 35,1$ Н/м; $c_{en} = 19$ Нс²/м²; $m_T = 1962$ кг; $m_d = 1226$ кг; $\mu = 3,58$ кг/м; площадь каждой распорной доски $S_d = 6$ м².

Выборка и травление осуществлялись со скоростью 1,5 м/с в течение 5 мин. Начальная длина вытравленных ваеров в обоих случаях $l = 500$ м.

Судно при этом движется с постоянной скоростью 2,315 м/с.

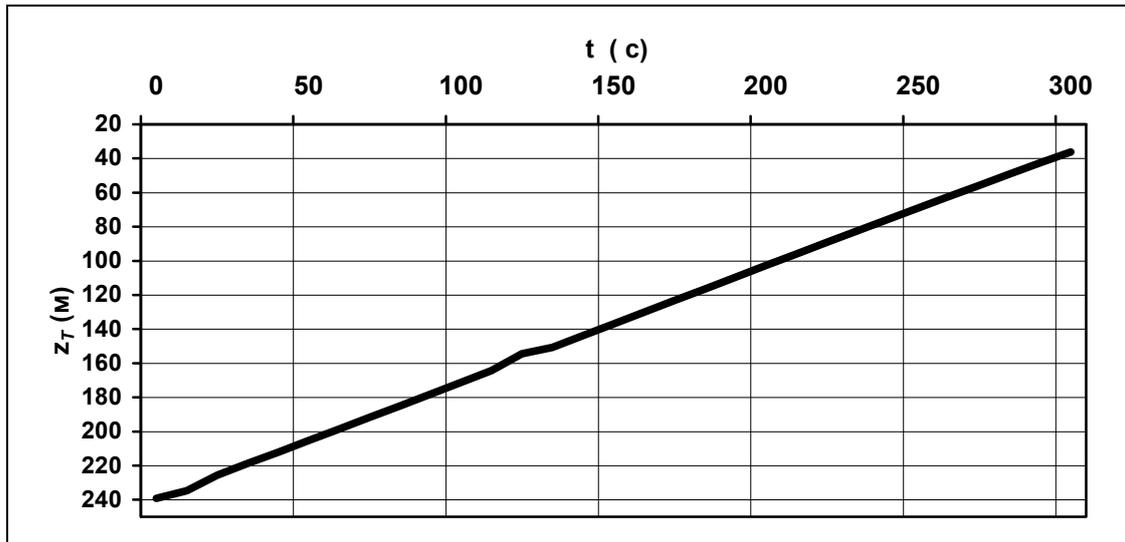


Рис. 1. Изменение глубины хода трала z_T в процессе выборки ваеров

Fig. 1. Diving depth z_T of trawl in the process of pulling out warpes

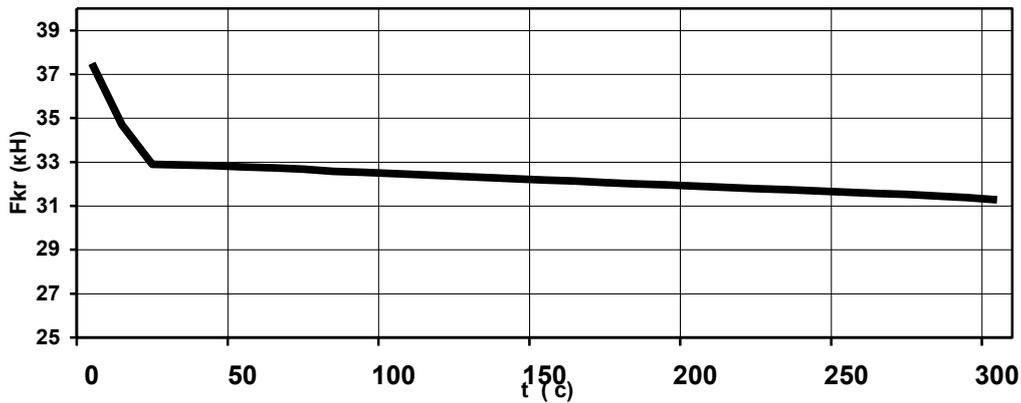


Рис. 2. Изменение натяжения F_{kr} в верхнем конце каждого вытравленного ваера в процессе выборки ваеров

Fig. 2. Diving F_{kr} tension at the upper end of each towed warp in the process of pulling out warps

На рис. 1, 2 приведены графики изменения глубины хода трала и натяжения в верхнем конце каждого вытравленного ваера (эти значения для каждого ваера при прямолинейном и равномерном движении судна одинаковы, что подтвердили расчеты) в процессе выборки ваеров. Как видно из рис. 1, при поддержании скорости судна неизменной в процессе выборки с постоянной скоростью глубина хода трала плавно уменьшается практически по линейному закону (так же, как и глубина хода обеих распорных досок). Следует отметить, что расстояние между распорными досками в процессе выборки практически не изменилось, оставаясь все время равным первоначальному значению 75 – 76 м. Как показано на рис. 2, натяжение в верхних концах ваеров после сравнительно быстрого уменьшения в первые 20 с выборки далее уменьшается незначительно. При травлении ваеров глубина хода трала плавно увеличивается (также практически по линейному закону), а натяжение в верхних концах вытравленных ваеров растет. Такой характер изменения элементов и характеристик тралового комплекса в целом соответствует реальному поведению траловой системы при выборке и травлении ваеров при прямолинейном движении судна с постоянной скоростью.

Таким образом, полученная математическая модель адекватно отражает закономерности пространственного нестационарного движения реальной траловой системы и в дальнейшем будет использована для решения задач управления движением тралового комплекса при исследовании различных режимов выборки и травления ваеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Altschul B.A. Equations of trawl system movement at its schematization by two-warp model / B. A. Altschul, T. V. Ermakova // Proceedings of the ninth international workshop on methods for the development and evaluation of maritime

technologies, Japan, Nara, November 5 – 7th, 2009. Contributions of the theory of fishing gears and related marine systems. Vol. 6, Japan, Nara 2010. – p. 251-258.

2. Альтшуль, Б. А. Математическое описание движения тралового комплекса при его схематизации двухваерной моделью / Б. А. Альтшуль, Т. В. Ермакова // Известия КГТУ. – 2011. – № 20. – С. 141-147.

3. Альтшуль, Б. А. Динамика траловой системы / Б. А. Альтшуль, А. Л. Фридман. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 240 с.

4. Ермакова, Т. В. Математическое моделирование пространственного нестационарного движения двухваерного тралового комплекса / Т. В. Ермакова // Известия КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 95-102.

5. Альтшуль, Б. А. Учет изменения длины вытравленных ваеров в математическом описании движения тралового комплекса при его схематизации двухваерной моделью / Б. А. Альтшуль // Известия КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 127-130.

REFERENCES

1. Altschul B. A., Ermakova T. V. Equations of trawl system movement at its schematization by two-warp model. Proceedings of the nineth international workshop on methods for the development and evaluation of maritime technologies, Japan, Nara, November 5 – 7th, 2009. Contributions of the theory of fishing gears and related marine systems. Vol. 6, Japan, Nara 2010, pp. 251 – 258.

2. Altschul B. A., Fridman A. L. *Dinamika tralovoy sistemy* [Dynamics of trawl system]. Moscow, Agropromizdat, 1990, 240 p.

3. Altschul B. A., Ermakova T. V. Matematicheskoe opisanie dvigania tralovogo kompleksa pri ego skhematizazii dvukhvaernoy modeliy [Mathematical description of trawl complex movement at its schematization by two – warp model]. Kaliningrad, *Izvestia KGTU*, 2011, no. 20, pp. 141 – 147.

4. Ermakova T. V. Matematicheskoe modelirovanie prostranstvennogo nestazionarnogo dvigania dvukhvaernogo tralovogo kompleksa [Mathematical description of trawl complex movement at its schematization by two – warp model]. Kaliningrad, *Izvestia KGTU*, 2011, no. 23, pp. 95 – 102.

5. Altschul B. A. Utchet izmenenia dliny vitravlennikh vaerov v matematicheskom opisani dvigania tralovogo kompleksa pri ego skhematizazii dvukhvaernoy modeliy [Allowance for the change in the length of veered warps in the mathematical description of the movement of the trawl complex when it is schematized by the two-wagged model]. Kaliningrad, *Izvestia KGTU*, 2011, no. 23, pp. 127 – 130.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Альтшуль Борис Аркадьевич – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»

Altschul Boris Arkadievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor

Ермакова Татьяна Владимировна – ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика»;
E-mail: tatyana.erm@mail.ru

Ermakova Tatiana Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Kandidat of Technical Sciences, Associate Professor;
E-mail: tatyana.erm@mail.ru

УДК 639.239

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
МЕЧЕРЫЛОПОДОБНЫХ РЫБ И ПЕЛАГИЧЕСКИХ АКУЛ
В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ

Е. В. Бочкарёва

SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION OF SWORDFISH
AND PELAGIC SHARKS IN THE ATLANTIC OCEAN

E. V. Bochkaryova

На основе использования дистанционных методов зондирования океана проанализировано ежемесячное распределение в нем наиболее массовых видов мечерылоподобных и акул в связи с океанологическими условиями их обитания. Установлено, что наиболее значащим фактором, влияющим на формирование промысловых скоплений, является температура. Пространственно-временное распределение рыб зависит от оптимального диапазона средней температуры на горизонтах обитания 0-150 м и вертикального развития оптимального температурного диапазона. Величина этих параметров специфична для каждого вида и варьирует в зависимости от сезона и района, максимальный диапазон – у меч-рыбы и синей акулы, которые имеют наибольшую численность и занимают обширный ареал. Северной границы ареала, расположенной севернее 50° с. ш., эти виды достигают в июле-августе, а южных границ (южнее 40° ю. ш.) в феврале-апреле. Несколько меньший ареал занимает короткоплавниковая акула-мако. В летний период в зоне Гольфстрима она достигает районов севернее 40° с. ш., в южном полушарии – 40° ю. ш. Акула встречается как в открытой части океана, так и в прибрежных водах. Синий марлин, белый копыеносец, парусник, большеглазая лисья акула, длиннокрылая акула в течение года постоянно обитают в экваториальной зоне от 20° с. ш. до 20° ю. ш., и только в теплые сезоны соответствующего полушария их ареал может расширяться до 30° ю. ш. в Южной Атлантике и до 40° с. ш. в западной части Атлантического океана. Распространение длинноплавниковой акулы-мако, являющейся эпимезопелагическим видом, ограничено экваториальной зоной и, возможно, не выходит за пределы 20° с.ш. – 20° ю.ш.

промысловое скопление, ареал, оптимальный температурный диапазон, пространственно-временное распределение, мечерылоподобные рыбы, акулы

Based on the use of remote sensing methods, monthly distribution of the dominant species of swordfish and sharks in the ocean in connection with the oceanographic conditions of their habitat has been analyzed. It has been established that temperature is the most significant factor influencing formation of exploitable concentrations. Spatial-temporal distribution of fish depends on the optimal range of mean temperature at the 0-150 m habitats and vertical development of the optimal temperature range. Values of these parameters are specific for each species and vary depending on season and area. The maximum range of these parameters is for swordfish and blue sharks, which are the largest in number and occupy a large area.

These species reach the northern border of the area located northward of 50 ° N in July-August, and southern borders southward of 40 ° S in February-April. A slightly smaller area is occupied by the short-finned shark-mako. In summer, in the Gulf Stream zone, it reaches areas north of 40 ° N, in the southern hemisphere 40 ° S. The shark is found both in the open part of the ocean and in the coastal waters. Throughout the year blue marlin, white spearfish, sailfish, long-tailed shark, oceanic whitetip shark permanently inhabit the equatorial zone from 20 ° N. up to 20 ° S. and only during warm seasons of the corresponding hemisphere their area can be expanded to 30 ° S. in the South Atlantic and up to 40 ° N. in the western part of the Atlantic Ocean. Distribution of the long-finned shark-mako, which is an epimesopelagic species, is limited to the equatorial zone and, possibly, does not exceed 20 ° N. - 20 ° S.

exploitable concentration, area, optimal temperature range, spatiotemporal distribution, swordfish, sharks

ВВЕДЕНИЕ

Изучение ареалов биологических видов является одним из важнейших направлений экологии живых существ. Особое значение оно приобретает применительно к объектам, представляющим экономический интерес для человека и относящимся к его хозяйственной деятельности. Для рыбной промышленности и промысловой ихтиологии, а также оптимизации промысла большое значение имеет знание сезонного распределения промысловых объектов, биологии, условий обитания и формирования промысловых скоплений. Эти сведения необходимы для изучения миграций, определения районов нереста и нагула промысловых рыб и в конечном итоге, для оценки состояния запасов, возможного промыслового изъятия, разработки мероприятий по рациональному использованию запасов, их восстановлению и сохранению.

Меч-рыба, парусник, марлины, акулы относятся к числу ценнейших промысловых рыб Мирового океана, и их лов является одним из важнейших направлений мирового океанического рыболовства. Эти рыбы в открытой части океана, как правило, добываются при ярусном лове тунцов и составляют до 40% вылова. В отдельных районах океана меч-рыба и акулы преобладают в уловах и являются объектами специализированного лова. Исключительные пищевые качества мечерылоподобных и ряда акул, а также высокая стоимость продукции из них определяют повышенный интерес к ним рыбопромышленников всего мира.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современные космические методы дистанционного зондирования океана и полученные на их основе массивы данных о распределении температуры, солености и других характеристик океана как на поверхности, так и на глубине способствовали разработке новых технологий, позволяющих изучать сезонное распределение рыб в зависимости от гидрологических условий и биологического состояния.

Материалом для работы послужили биологические и статистические данные отечественного тунцового ярусного промысла за период 1959-1990 гг., собранные непосредственно в море сотрудниками Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантиНРО)

и Управления научно-исследовательского и поискового флота (ЗРПР). Материалы содержат ежесуточную промысловую информацию о результатах ярусных постановок на научно-исследовательских судах и тунцеловных базах "Солнечный луч" и "Яркий луч", координаты работы судов, общий вылов за сутки, видовой состав выловов, величину промыслового усилия (количество поставленных крючков). Кроме того, обработаны данные промысловых журналов и материалы, собранные наблюдателями на промысловых судах. Проанализировано более 150 тыс. постановок яруса. Используются также материалы, собранные в траловых и кошельковых выловах промысловых и научно-исследовательских судов до 2013 г. Обработаны данные более 160 научно-исследовательских, научно-поисковых и промысловых рейсов, материалы Международной комиссии по охране запасов атлантических тунцов (ICCAT). Сбор и первичная обработка биологических материалов проводились в соответствии с методическим обоснованием поиска, промысла и биологических исследований тунцов, мечерылых, акул в Атлантическом океане (1985). Сборы материалов осуществлялся на значительной акватории Атлантического океана между Африкой и Америкой – от 45° с.ш. до 40° ю.ш. в периоды, охватывающие круглогодичный цикл наблюдений. Данные о распределении температуры по горизонтам взяты из многолетнего одноградусного гидрометеорологического массива World Ocean Atlas 94 [1], в котором наблюдения усреднены за период 1900-1992 гг.

Для анализа распределения и построения карт вероятного распределения и относительной плотности исследуемых объектов использована методика, разработанная для желтоперого, полосатого и большеглазого тунцов [2-4]. Для этого создана и формализована электронная база данных ежемесячного вылова мечерылоподобных и акул, промыслового усилия, вылова на единицу усилия (на 100 крючков яруса) и океанологических параметров в пределах их ареалов. После формализации базы данных проведен факторный анализ для выявления значащих параметров среды, определяющих состояние экосистемы в пределах ареалов исследуемых видов. Установлено, что наиболее значащим фактором, влияющим на формирование промысловых скоплений, является температура. Кроме того, температура является наиболее удобным и доступным для анализа параметром, который можно оперативно получать с помощью спутникового зондирования океана при современной информативной доступности к массивам данных.

Следующий этап – определение оптимального температурного диапазона (T^{opt}) для обитания популяции исследуемого вида. Анализ распределения выловов различных рыб на фоне термических условий показал, что в годовом цикле диапазон температур, при которых они облавливались, не изменяется и колеблется в пределах нескольких градусов. Также установлено, что необходимым условием образования массовых скоплений является наличие не только горизонтального, но и вертикального развития оптимального температурного диапазона, величина которого прямо пропорциональна значениям среднеквадратических отклонений изменения температуры по глубине (Std). Для каждого вида в пределах ареала и месяца лова выделены участки вероятной встречаемости, в которых средние значения T^{opt} и Std в слое 0-150 м находятся в оптимальном диапазоне. Эти участки в целом отражают пространственное распределение вида. Полученные данные сравнивались с фактическими результатами промысла. Участки вероятной встречаемости являются

потенциальными районами образования промысловых скоплений и путей миграций, в результате которых и происходит обмен генофондом между популяциями. Участки массовых скоплений – основные районы нереста и нагула. После определения оптимальных температурных диапазонов и их вертикального распределения на основе фактических данных в конкретных точках вылова определены участки с аналогичными параметрами и построены ежемесячные карты распределения относительной плотности исследуемых объектов.

Меч-рыба (*Xiphias gladius*) является космополитом тропических, умеренных и иногда холодных вод всех океанов. Широтный ареал этого вида, основанный на данных ярусных выловов, простирается от 50° с. ш. до 45° ю. ш. в Западной и от 60° с. ш. до 50° ю. ш. в Восточной Атлантике. Сезонное распределение меч-рыбы в Атлантическом океане изучено недостаточно.

Для меч-рыбы, по нашим данным, в слое 0-150 м средние значения оптимальной температуры находятся в диапазоне 9,1-25,0 °С, Std – 2,4-6,4. Районы вероятного распределения меч-рыбы в течение года и районов выловов по материалам отечественного промысла представлены на рис. 1.

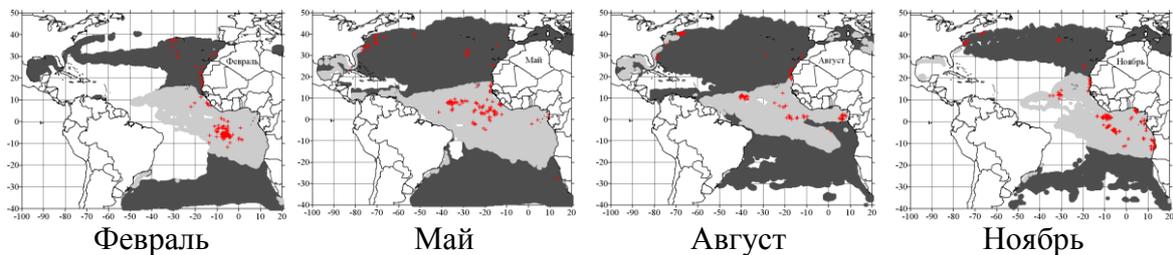


Рис. 1. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов меч-рыбы: ○ – районы с возможными выловами более 10 кг/100 крючков, ● – районы с возможными выловами менее 10 кг/100 крючков, + – районы вылова отечественным флотом

Fig. 1. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of swordfish

Основные районы обитания меч-рыбы находятся в экваториальной и тропической зонах океана. Максимальная численность с выловом более 10 кг/100 крючков в течение всего года наблюдалась от 15° с. ш. до 15° ю. ш. Расширение зоны массовой встречаемости меч-рыбы в северном или южном направлении происходит в летний период соответствующего полушария. Наиболее северных широт меч-рыба достигает в июле-августе, когда ареал простирается севернее 50° с. ш. В феврале-апреле она доходит до южных границ своего ареала и встречается южнее 40° ю. ш. У побережья Северной Америки меч-рыба попадает преимущественно в весенне-летний период.

В центральной и восточной частях Атлантического океана меч-рыба в уловах встречается в течение всего года. Наибольшие выловы приходятся на лето соответствующего полушария. В северном полушарии западнее 30° з. д. наиболее эффективный лов велся с мая по ноябрь. В этот же период меч-рыба облавливалась и в северо-западной части Атлантического океана у побережья Северной Америки. Результаты промысловых работ согласуются с данными вероятного распределения меч-рыбы в течение годового цикла.

Парусник (*Istiophorus albicans*) распространен в тропических и умеренных водах Атлантического океана. Границы ареала в Атлантическом океане, по данным ярусного лова, достигают приблизительно 40° с. ш. в западной и 50° с. ш. в восточной части северного полушария, 40° ю. ш. в западной и 32° ю. ш. в восточной части Южной Атлантики. Сезонное распределение парусника в Атлантическом океане изучено недостаточно.

Наши исследования показали, что для парусника средние значения оптимальной температуры в слое 0-150 м находятся в диапазоне 17,2-26,4 °С, Std – 2,0-6,3. Районы вероятного распределения и фактических выловов парусника, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 2.

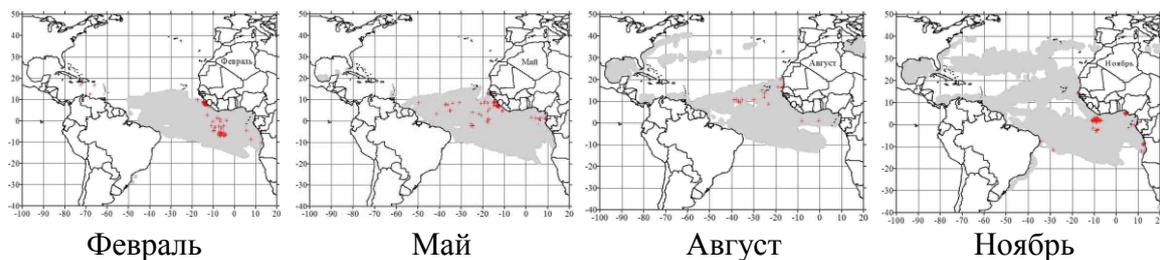


Рис. 2. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов парусника: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы вылова

Fig. 2. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of sailfish

Как следует из карт вероятного распределения парусника, его основные скопления приурочены к экваториальным прибрежным водам Африки и Америки. В экваториальной зоне от 20° с.ш. до 20° ю.ш. он присутствует практически в течение всего года, проникая в теплые периоды соответствующего полушария вдоль побережья Америки до 30° ю.ш. и 40° с.ш.

Значительные концентрации парусника зарегистрированы у побережья западной Африки в районе Гвинеи и Сьерра-Леоне. Они связаны с образованием благоприятных условий, формирующихся при взаимодействии Канарского течения и Экваториального противотечения. По нашим данным, промысловые скопления парусника формируются здесь в первом полугодии с февраля по июнь. Во втором полугодии наибольшая его встречаемость в выловах отмечена от 5° с. ш. до 10° ю. ш. В открытой части океана парусник скоплений не образует, в уловах в течение всего периода промысла встречался единично.

Атлантический синий марлин (*Makaira nigricans*) распространен в тропических и субтропических водах океана. Ареал марлина менее широкий, чем меч-рыбы. В основном он ограничен экваториальной и тропической зонами океана. Синий марлин более приурочен к тропической зоне, чем другие мечерылоподобные и, судя по выловам на усилии в обоих регионах, более многочислен в западной части Атлантического океана, чем в восточной. Синий марлин обитает преимущественно в поверхностных слоях воды, но совершает регулярные вертикальные миграции.

Для синего марлина средние значения оптимальной температуры в слое 0-150 м, по нашим данным, находятся в диапазоне 15,5-24,5 °С, Std – 2,2-6,3.

Районы вероятного помесячного распределения и фактических выловов марлина, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 3.

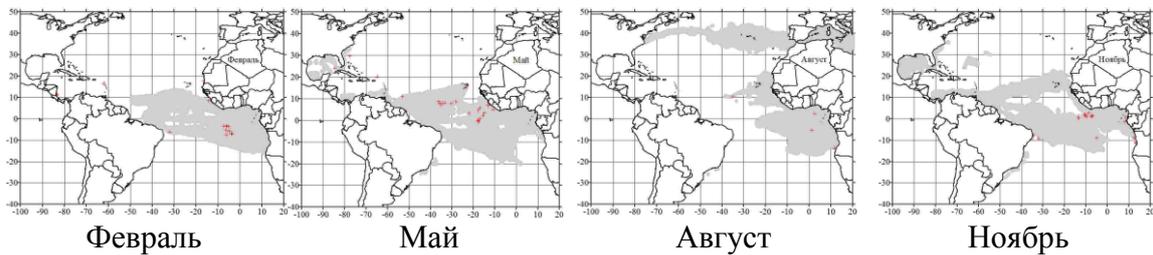


Рис. 3. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов синего марлина: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы вылова

Fig. 3. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of blue marlin

Большую часть года ареал синего марлина ограничен примерно 20° с. ш. и 20° ю. ш. и только в теплые сезоны соответствующего полушария расширяется до 30° ю. ш. в Южной и до 40° с. ш. в Северо-Западной Атлантике. Наиболее высоких широт синий марлин достигает в теплый период соответствующего полушария.

Белый копьеносец (*Tetrapturus albidus*) – океанический вид, ареал которого охватывает значительную часть Атлантического океана, примерно от 45° с. ш. в Северной Атлантике до 45° ю. ш. в западной и до 35° ю. ш. в восточной части Южной Атлантики.

По нашим данным, для белого копьеносца средние значения оптимальной температуры в слое 0-150 м находятся в диапазоне 17,9-26,0 °С, Std – 1,6-5,9. Районы вероятного помесячного распределения и фактических выловов марлина, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 4.

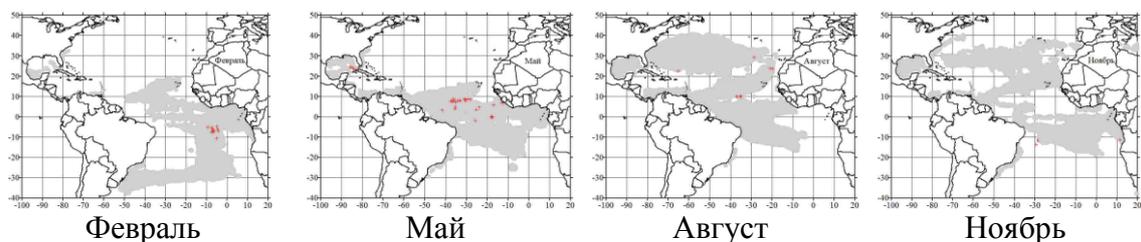


Рис. 4. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов белого копьеносца: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы вылова

Fig. 4. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of white spearfish

Как следует из карт вероятного распределения копьеносца, большую часть года его ареал ограничен примерно 20° с. ш. и 20° ю. ш. и только в теплые периоды соответствующего полушария расширяется до 30° ю. ш. в Южной и до 40° с. ш. в Северо-Западной Атлантике, что характерно и для других мечерылоподобных.

Большеглазая лисья акула (*Alopias superciliosus*) распространена как в океанических, так и в прибрежных водах.

Результаты наших исследований показали, что для большеглазой лисьей акулы средние значения оптимальной температуры в слое 0-150 м находятся в диапазоне 16,3-23,5 °С, Std – 2,9-6,3. Районы ее выловов и вероятного пространственно-временного распределения, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 5.

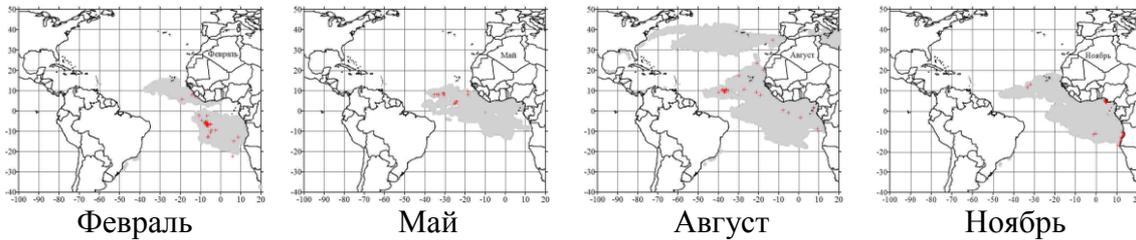


Рис. 5. Районы вероятного месячного распределения и выловов большеглазой лисьей акулы: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы вылова
 Fig. 5. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of big-eyed thresher

В течение года большеглазая лисья акула постоянно встречается в экваториальной зоне в пределах 20° с. ш. – 20° ю. ш. В июле-августе ее ареал может распространяться до 40° с. ш., а в декабре – до 40° ю. ш. Наиболее крупные скопления лисья акула образует в прибрежных водах. Ярусные съемки, проводившиеся в период научно-исследовательских экспедиций, выявили значительные скопления акулы в прибрежных водах Анголы над свалом глубин в октябрь-ноябре. В период научно-исследовательских экспедиций АтлантНИРО вылов составлял до 845 кг/100 крючков. В открытой части океана большеглазая лисья акула скоплений не образует, в выловах присутствуют единичные экземпляры.

Длиннокрылая акула (*Carcharhinus longimanus*) – теплолюбивый вид. Одна из наиболее распространенных акул в открытом океане, но изредка встречается и в прибрежных водах. Является типичным представителем эпипелагиали открытого океана и входит в голоэпипелагическую океаническую группу [7, 8].

Районы выловов и вероятного пространственно-временного распределения длиннокрылой акулы, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 6.

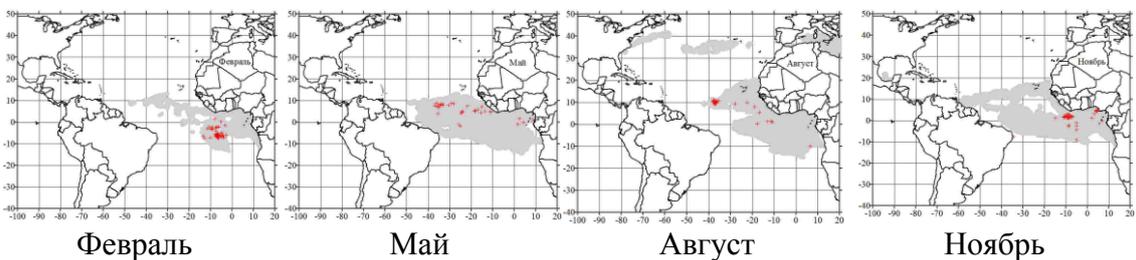


Рис. 6. Районы вероятного пространственно-временного распределения и выловов длиннокрылой акулы: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы выловов
 Fig. 6. Areas of probable spacial-temporal distribution and catches of oceanic whitetip shark

Районы наибольшей численности акулы в течение года располагаются в довольно узкой экваториальной зоне от 10° с. ш. до 10° ю. ш. В летний период соответствующего полушария ареал может расширяться до 20-30° обеих широт. Наиболее северное распространение длиннокрылой акулы, достигающее 40° с. ш., зарегистрировано в июле в зоне действия Гольфстрима. Эти выводы подтверждаются исследованиями пространственно-временного распределения акулы, проведенными в период 1992-1997 гг. на основании анализа тунцового ярусного промысла в Тихом океане. Результаты указывают на то, что длиннокрылая акула наиболее многочисленна вдоль экваториальной полосы 10° с. ш. – 10° ю. ш., довольно обычна между 20° с. ш. – 20° ю. ш., иногда распространяется приблизительно до 30° с. ш. Предполагается, что широтный диапазон распределения ограничивается температурой [6].

Короткоплавниковая акула-мако (*Isurus oxyrinchus*) встречается в эпимезопелагиали тропических и субтропических вод Мирового океана на горизонтах 0-740 м от 64° с. ш. до 56° ю. ш., оптимальная температура обитания 18-28 °С [9]. *Isurus oxyrinchus* – наиболее широко распространенный вид сем. Lamnidae, ареал которого ограничен умеренными водами Мирового океана [10].

Наши исследования показали, что для короткоплавниковой акулы-мако в слое 0-150 м средние значения оптимальной температуры находятся в диапазоне 15,1-24,4 °С, Std – 2,0-6,3. Районы выловов и вероятного распределения короткоплавниковой акулы-мако, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 7.

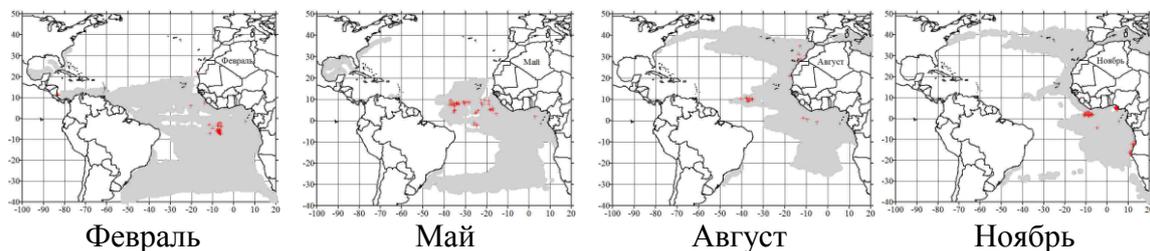


Рис. 7. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов короткоплавниковой акулы-мако: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы выловов

Fig. 7. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of short-finned mako

Длинноплавниковая акула-мако (*Isurus paucus*) – малоизученная акула, обитающая в тропической зоне Мирового океана. В отечественных уловах достоверная идентификация акул-мако проводится с 1973 г., и в настоящей работе использованы только эти материалы. Ареал данного вида, по-видимому, ограничен тропической зоной.

Для длинноплавниковой акулы-мако в слое 0-150 м средние значения оптимальной температуры, по нашим наблюдениям, находятся в диапазоне 15,1-22,9 °С, Std – 3,1-6,3. Распределение районов выловов и вероятного пространственно-временного распределения длинноплавниковой акулы-мако, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 8.

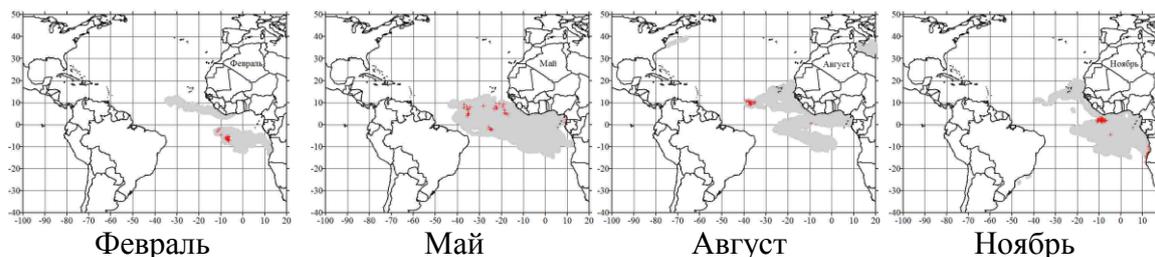


Рис. 8. Районы вероятного пространственно-временного распределения и фактических выловов длинноплавниковой акулы-мако: ● – районы вероятной встречаемости, + – районы выловов

Fig. 8. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of long-finned mako

Ареал длинноплавниковой акулы-мако ограничен экваториальной зоной и, возможно, не выходит за пределы 20° с.ш. – 20° ю.ш. Она является эпимезопелагическим видом и обитает в более глубоких слоях, чем короткоплавниковая. Тип ареала тропический.

Синяя акула (*Prionace glauca*) является космополитом тропических, умеренных и иногда холодных вод всех океанов. Это один из наиболее многочисленных пелагических хищников в Атлантическом океане, встречается как в открытом океане, так и в прибрежных шельфовых водах. Широтный ареал этого вида, основанный на данных ярусных выловов, простирается от 50° с. ш. до 45° ю. ш. в Западной и от 60° с. ш. до 50° ю. ш. в Восточной Атлантике. Широкое географическое распространение синей акулы, эврибионтность в дополнение к эффективному репродуктивному циклу способствовали ее успеху в океанской экосистеме.

Для синей акулы средние значения оптимальной температуры в слое 0-150 м находятся в диапазоне $8,9-25,3^{\circ}\text{C}$, Std – 1,1-6,3. Районы выловов и вероятного пространственно-временного распределения синей акулы, по материалам отечественного промысла, представлены на рис. 9.

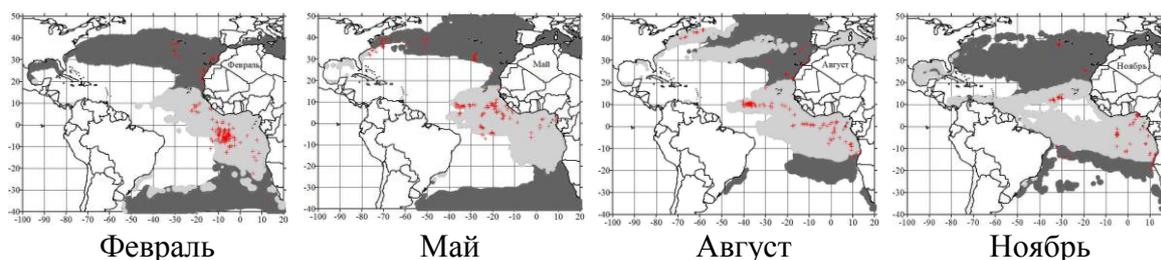


Рис. 9. Районы вероятного пространственно-временного распределения и выловов синей акулы: ● – районы с возможными выловами более 30 кг/100 крючков, ● – районы с возможными выловами менее 30 кг/100 крючков, + – районы выловов

Fig. 9. Areas of probable spacial-temporal distribution and actual catches of blue shark

Синяя акула в отдельных районах часто образует большие скопления близко к поверхности в умеренных водах, в августе они отмечены в координатах

5-7° с. ш., 30-35° з. д. Во время научно-исследовательской экспедиции АтлантНИРО в 1988 г. вылов синей акулы достигал 120 кг/100 крючков яруса. Также значительные скопления обнаружены в южной части зоны Анголы в координатах 16-17°15' ю. ш. Вылов здесь составлял более 200 кг/100 крючков в ноябре 1979 г.

В соответствии с районированием Мирового океана по промыслово-географическим комплексам исследуемые виды входят в состав тропическо-экваториального, умеренно-тепловодного и частично умеренно-холодноводных комплексов [7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Levitus S., Boyer T.P. World Ocean Atlas. – Vol. 4: Temperatura / NOAA Atlas NESDIS 4. U.S. Dept. of Commerce NOAA. – 1994. – 117 p.
2. Гайков, В. З. Использование дистанционных методов зондирования океана для повышения эффективности тунцового промысла / В. З. Гайков, В. И. Архипов // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2002-2003 годах: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб.хоз-ва и океанографии. – Калининград, 2004. – Т. 1. – С. 73-80.
3. Гайков, В. З. Распределение и относительная плотность скоплений большеглазого тунца (*Thunnus obesus*) в Атлантическом океане / В. З. Гайков, Е. В. Гайкова, В. И. Архипов // Инновации в науке и образовании – 2004: материалы Международной научной конференции. – Калининград, 2004. – С. 5-6.
4. Gajkov V.Z., Arkhipov V.I. Applied Ecological Monitoring of Fish Stocks with the Use of Modern Information Technical Base // History of Oceanography: Abstracts of the VII International Congress of the History of Oceanography. Kaliningrad, September 8-12, 2003. – Kaliningrad, 2003. – P. 257-259.
5. Парин, Н.В. Ихтиофауна океанской эпипелагиали / Н. В. Парин. – Москва: Наука, 1968. – 186 с.
6. Парин, Н. В. Крупные хищные рыбы в трофической системе океанской пелагиали / Н. В. Парин // Современное состояние биологической продуктивности и сырьевых биологических ресурсов Мирового океана и перспективы их использования: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыбн. хоз-ва и океаногр. – Калининград, 1970. – С. 219-229.
7. Расс, Т. С. Биогеографическая основа районирования рыбопродуктивных зон Мирового океана / Т. С. Расс // Биологические ресурсы Мирового океана. – Москва: Наука, 1979. – С. 48-83.
8. Bonfil R. Distribution and Relative Abundance of Oceanic Whitetip Sharks *Carcharhinus longimanus* in the Pacific Ocean // International Pelagic Shark Workshop. – Monterey, California February 13-17, 2000. – P. 2.
9. Burgess G.H. An Overview of the Distributions and Habitat Preferences of Pelagic Elasmobranchs // International Pelagic Shark Workshop. – Monterey, California February 13-17, 2000. – P. 2-3.
10. Compagno L.J.V. Sharks of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date // FAO Fish. Synop. – 1984. – No. 125. – Vol. 4. – 655 p.

REFERENCES

1. Levitus S., Boyer T. P. World Ocean Atlas. Vol. 4: Temperatura. NOAA Atlas NESDIS 4. U.S. Dept. of Commerce NOAA. 1994, 117 p.
2. Gajkov V. Z., Arkhipov V. I. *Ispolsovanie distansionnich metodov zondirovaniya okeana dlia povisheniya effektivnosti tunsovogo promisla. Promislovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 2002-2003 godach: Sbornik nauchnich trudov Atlant. NII ribnogo chozajstva i okeanographii* [Using Remote Sensing Methods of the Ocean to Raise the Efficiency of Tuna Fishing. Commercial-biological studies of AtlantNIRO in 2002-2003: Collection of scientific papers Atlant. Institute of Fishery and Oceanography]. Kaliningrad. 2004, vol. 1, pp. 73-80.
3. Gajkov V. Z., Arkhipov V. I. Gajkova E. V. *Raspredelenie i otноситelnaj plotnost skoplenij bolsheglasogo tuntsa (Thunnus obesus) v Atlanticheskom okeane. Materiali mezhdunarodnoj nauchnoj konferensii "Innovasii v nauke i obrasovanii-2004"* [Distribution and relative density of large-eyed tuna (*Thunnus obesus*) in the Atlantic Ocean. Proceedings of the International Scientific Conference "Innovations in Science and Education-2004"]. Kaliningrad, 2004, pp. 5-6.
4. Gajkov V. Z., Arkhipov V. I. Applied Ecological Monitoring of Fish Stocks with the Use of Modern Information Technical Base. History of Oceanography: Abstracts of the VII International Congress of the History of Oceanography. Kaliningrad, September 8-12, 2003. Kaliningrad, 2003, pp. 257-259.
5. Parin N. V. *Ichtyofauna okeanskoj epipelagiali* [Ichthyofauna of the epipelagic zone]. Moscow, Science Publ., 1968, 186 p.
6. Parin N. V. *Krupnie khishnie rybi v troficheskoj sisteme okeanskoj epipelagiali. Sbornik nauchnykh rabot Atlanticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Large predatory fish in the trophic system of the epipelagic zone. Collection of scientific works of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography]. Kaliningrad, 1970, pp. 219-229.
7. Rass T. S. *Biogeographicheskaj osnova rajonirovaniya riboproduktivnich zon Mirovogo okeana. Biologichskie resursi Mirovogo okeana* [Biogeographical basis of regionalization of fish-producing zones of the World Ocean. Biological resources of the World Ocean]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 48-83.
8. Bonfil R. Distribution and Relative Abundance of Oceanic Whitetip Sharks *Carcharhinus longimanus* in the Pacific Ocean. International Pelagic Shark Workshop. Monterey, California February 13-17, 2000, p. 2.
9. Burgess G. H. An Overview of the Distributions and Habitat Preferences of Pelagic Elasmobranchs. International Pelagic Shark Workshop. Monterey, California February 13-17, 2000, p. 2-3.
10. Compagno L. J. V. *Sharks of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date*. FAO Fish. Synop. 1984, no. 125, vol. 4, 655 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бочкарёва Елена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: tuna49@mail.ru

Bochkaryova Elena Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Post-graduate student; Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: tuna49@mail.ru

УДК 504.453:627.133

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЛА ПРИ РАСЧЕТЕ НОРМАТИВОВ
ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ВЕЩЕСТВ В МАЛЫЕ ВОДОТОКИ

В. А. Наумов, С. Н. Сулейманов

DETERMINATION OF THE RIVERBED ROUGHNESS IN CALCULATION OF
STANDARDS FOR PERMISSIBLE DISCHARGES OF SUBSTANCES TO SMALL
WATERCOURSES

V. A. Naumov, S. N. Suleymanov

При расчете нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водотоки кратность основного разбавления зависит от коэффициента турбулентной диффузии. Коэффициент диффузии прямо пропорционален средней скорости и глубине водотока, обратно пропорционален двум коэффициентам: Шези C и шероховатости русла водотока n . Малые реки и ручьи в наибольшей степени подвержены антропогенному воздействию, тогда как разработанные методики определения величин C и n ориентированы либо на большие реки, либо на каналы с определенным сечением. Целью статьи является разработка метода определения коэффициента шероховатости при расчете нормативов допустимых сбросов веществ в малые водотоки. Причем ширина водотока не настолько велика, чтобы можно было среднюю глубину принять за гидравлический радиус. Рассмотрен случай, когда систематические гидрометрические наблюдения отсутствуют. Исходными данными являются полевые измерения, проведенные во время инженерно-гидрологических изысканий. В качестве примера использовались результаты наблюдений 2017 г. за ручьем Парковым в Калининграде. Первым этапом расчета является определение зависимости площади сечения и смоченного периметра от глубины водотока в контрольных створах. Второй этап заключается в формировании уравнения Шези, в котором параметры берутся из данных изысканий, а единственной неизвестной величиной является коэффициент шероховатости русла. Заключительный этап включает решение уравнения численным методом и корректировку параметров по условию постоянства расхода воды. Полученные таким образом величины C и n определяют безразмерный коэффициент диффузии d . Значение d непосредственно влияет на коэффициент смешения при установлении нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водотоки.

малые водотоки, сброс веществ, нормативы, ручей Парковый, гидрометрические наблюдения, коэффициент шероховатости, метод расчета

When calculating standards of permissible discharges of substances and microorganisms into water, multiplicity of the primary dilution depends on the coefficient of turbulent diffusion. The diffusion coefficient is directly proportional to the average velocity and depth of flow, inversely proportional to two factors: Chezy C

and roughness of the riverbed n . Small rivers and streams are most exposed to anthropogenic impact. However methods for determination of the values of C and n focus either on large rivers, or on channels with a certain cross section. The paper is concerned with the development a method for determining the roughness coefficient in calculation of standards for permissible discharges of substances to small watercourses. The width of the watercourse is not so large for the average depth to be taken for the hydraulic radius. We have considered a case when systematic hydrometric observations are missing. Field measurements conducted during the engineering and hydrological surveys are initial data. Observation results held in 2017 in Park brook in Kaliningrad have been used as an example. The first step of calculation is determination of dependence of the cross-sectional area and the wetted perimeter on the watercourse depth at the test sites. The second stage is formation of Chezy equations in which the parameters are taken from these surveys, and the only unknown is the roughness coefficient of the channel. The final stage involves solution of the equations by numerical method and parameters adjustment according to the condition of a constant water flow. Thus obtained values of C and n determine the dimensionless diffusion coefficient d . The value of d directly influences the mixing coefficient in determination of standards for permissible discharges of substances and microorganisms into watercourses.

small watercourses, discharge of substances, standards, Park brook, hydrometric observations, roughness coefficient, calculation method

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большое внимание уделяется исследованию состояния малых водотоков (см. [1-6] и библиографию в них). Такой интерес обусловлен ролью малых рек, ручьев и каналов в гидрологической системе территории, а также большей их чувствительностью к антропогенным воздействиям по сравнению с крупными и средними реками. Малые реки очень часто являются приемниками сточных вод.

По действующему нормативному документу [7] при расчете допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водотоки кратность основного разбавления n_0 следует определять по формуле Фролова-Родзиллера:

$$n_0 = (q + \gamma \cdot Q) / q, \quad (1)$$

где q – расход сточных, в том числе дренажных вод, $\text{м}^3/\text{с}$; Q – расчетный расход водотока, $\text{м}^3/\text{с}$; γ – безразмерный коэффициент смешения, показывающий, какая часть речного расхода смешивается со сточными водами в максимально загрязненной струе расчетного створа.

Формула для расчета коэффициента смешения [7]

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha \sqrt[3]{L})}{1 + (Q/q) \cdot \exp(-\alpha \sqrt[3]{L})}, \quad (2)$$

где L – расстояние от выпуска до расчетного створа по фарватеру, м; α – размерный коэффициент ($\text{м}^{-1/3}$), учитывающий гидравлические условия в реке:

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{D/q}, \quad (3)$$

где φ – безразмерный коэффициент извилистости (отношение расстояния до контрольного створа по фарватеру к расстоянию по прямой); ξ – безразмерный

коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега $\xi = 1$, при выпуске в стрежень реки $\xi = 1,5$); D – коэффициент турбулентной диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для летнего времени коэффициент турбулентной диффузии рассчитывается по формуле [7]:

$$D = \frac{g \cdot V \cdot H}{37 \cdot n \cdot C^2}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; V – средняя скорость течения водотока, $\text{м}/\text{с}$; H – средняя глубина, м ; n – безразмерный коэффициент шероховатости русла водотока; C – коэффициент Шези ($\text{м}^{0,5}/\text{с}$).

Коэффициент Шези при $H \leq 5$ м рассчитывается по формуле Н.Н. Павловского [7]:

$$C = R^y / n, \quad y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1), \quad (5)$$

где R – гидравлический радиус водотока в заданном створе, равный площади живого сечения водотока ω , деленной на смоченный периметр χ : $R = \omega/\chi$.

В методических указаниях [7] рекомендуется принять $R \approx H$, а величину безразмерного коэффициента шероховатости выбрать из справочных таблиц М. Ф. Срибно по описательным характеристикам расчетного участка. Один из основных недостатков таких таблиц – широкий диапазон значений при одной и той же описательной характеристике [8]. В Российском государственном гидромелиоративном университете (РГГМУ) по данным гидрометрических измерений более чем на 500 постах была выполнена оценка точности расчетов на основе формулы Шези и таблиц Срибно. Среднеквадратические отклонения табличных величин от значений, полученных расчетным путем, по данным наблюдений оказались в диапазоне от 32 до 35 %, а максимальные превысили 100 %. Такие большие погрешности стали причиной поиска путей совершенствования методики расчета.

В РГГМУ [9] были исследованы изменения коэффициента шероховатости при максимальных расходах в зависимости от глубин затопления русел и пойм, типа взаимодействия руслового и пойменного потоков и угла между их динамическими осями. Результаты исследований применимы к большим и средним рекам с обширными поймами. В [10] были проведены опыты по определению влияния глубины потока и расхода воды на коэффициент шероховатости при изменении уклона дна, но лишь для каналов с определенной формой сечения. Также только для расчетов течений в открытых каналах со сравнительно невысокой шероховатостью ($n < 0,06$) могут быть использованы формулы, полученные в [11]. Методика расчета [12] пригодна при расчетах коэффициента Шези и относительной шероховатости только для течений в безнапорных трубопроводах. В [13] был предложен метод определения зависимости величины n от скорости течения водотока при наличии систематических гидрометрических наблюдений.

Целью данной статьи является разработка метода определения коэффициента шероховатости русла при расчете нормативов допустимых сбросов веществ в малые водотоки. Рассматривается случай, когда систематические гидрометрические наблюдения отсутствуют. Причем ширина водотока не настолько велика, чтобы можно было среднюю глубину принять за гидравлический радиус.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для расчета послужили результаты полевых измерений, выполненных в Калининграде на ручье Парковом во время инженерно-гидрологических изысканий 2017 г. [14]. Контрольный створ № 1 был расположен в 9,8 м после выхода водотока из трубы на поверхность у Советского проспекта, створ № 2 – на 178,8 м ниже по течению, створ № 3 – еще на 290 м ниже. На рис. 1 представлены результаты некоторых промеров сечений водотока, выполненных 26 апреля 2017 г., причем показана только часть склона.

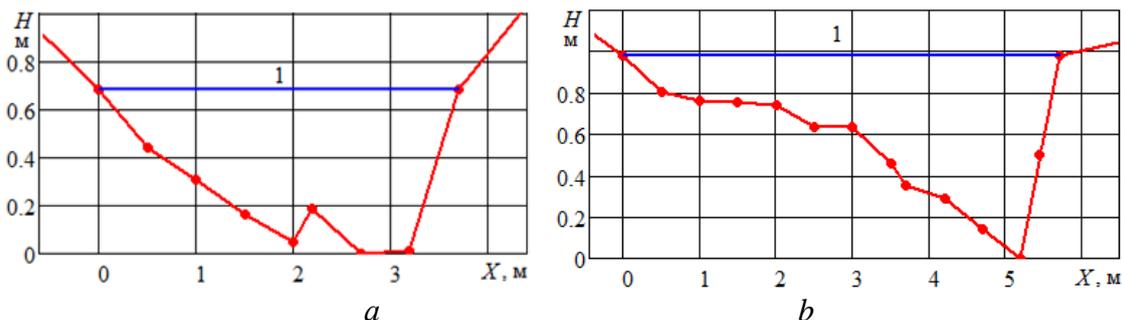


Рис. 1. Поперечный профиль ручья Паркового: *a* – створ № 1, *b* – створ № 2; 1 – уровень воды во время съемки

Fig. 1. Transverse profile of the Park brook: *a* – shot No. 1, *b* – shot No. 2; 1 – water level during shooting

Поплавковым методом в трех створах были измерены максимальные поверхностные скорости водотока. Каждое измерение повторялось не менее пяти раз. Средние значения измерений скорости U_m , и средние квадратичные отклонения σ представлены в табл. 1

Таблица 1. Результаты измерений скорости водотока
Table 1. Measurement results of water velocity

Номер створа	Наибольшая глубина, h , м	Наибольшая скорость, U_m , м/с	σ , м/с
1	0,68	0,525	0,047
2	0,98	0,490	0,052
3	0,49	0,336	0,015

Для определения уклона водной поверхности было выполнено нивелирование в трех створах ручья Паркового. Схема нивелирования в створах № 1 и 2 показана на рис. 2. Отметим, что в створе № 2 наблюдается подъем уровня дна и заметное уменьшение уклона водной поверхности. Такие особенности рельефа могут быть на отдельных участках малых водотоков и должны учитываться при выполнении расчетов.

По результатам нивелирования водной поверхности ручья Паркового было установлено, что наибольший уклон в межень наблюдался на участке первого створа – $I_1 = 5,0 \text{ ‰}$, почти в два раза меньше у третьего створа – $I_3 = 2,6 \text{ ‰}$ и совсем небольшой уклон $I_2 = 0,65 \text{ ‰}$ – вблизи второго створа.

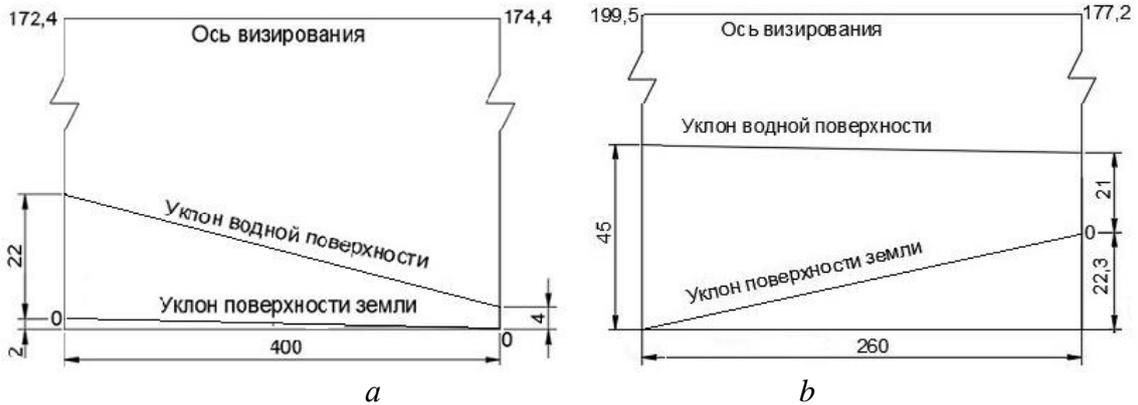


Рис. 2. Схема определения уклона водной поверхности ручья Паркового:
a – створ № 1, *b* – створ № 2. Все размеры указаны в сантиметрах
 Fig. 2. Scheme for determining the slope of the water surface of the Park brook:
a – shot on No. 1, *b* – shot No. 2. All dimensions are in centimeters

МЕТОД РАСЧЕТА

Как известно, форма поперечного сечения малого водотока (без выхода на пойму) может быть схематизирована параболой [15]. Для дальнейших расчетов удобнее получить параболы для левой $X = f_1(H)$ и правой части сечения $X = f_2(H)$ отдельно (рис. 3).

Зная формулы указанных парабол, можно получить зависимости площади живого сечения ω (6) и смоченного периметра χ (7) от наибольшей глубины водотока h , показанные на рис. 4:

$$\omega(h) = \int_0^h f_1(H) dH + \int_0^h f_2(H) dH ; \quad (6)$$

$$\chi(h) = \int_0^h \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dt} f_1(H)\right)^2} dH + \int_0^h \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dt} f_2(H)\right)^2} dH . \quad (7)$$

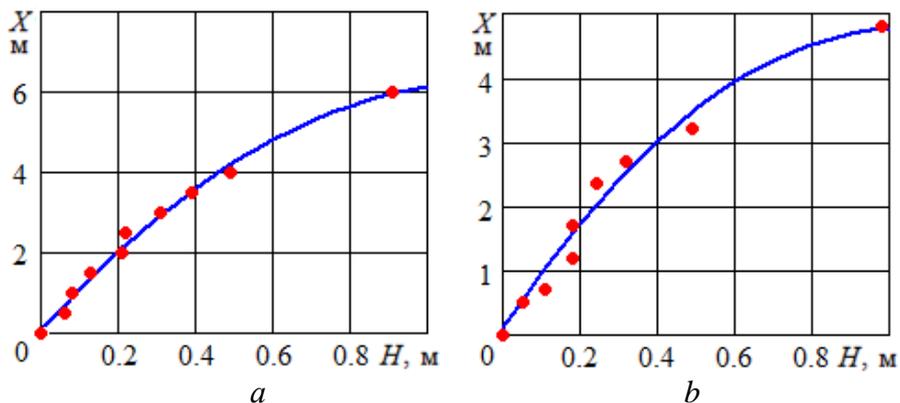


Рис. 3. Экспериментальные точки и сглаживающие кривые (створ № 3):
a – левая часть сечения; *b* – правая часть сечения
 Fig. 3. Experimental points and the smoothing curves (shot No. 3):
a – left side section; *b* – right side section

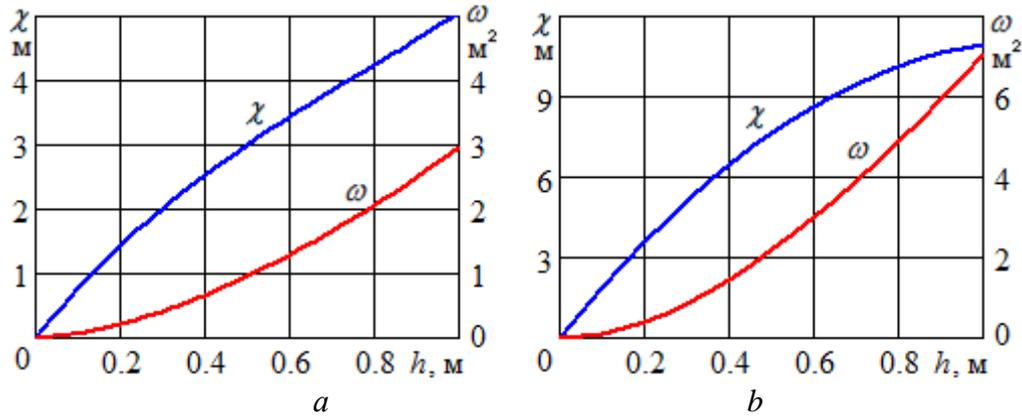


Рис. 4. Смоченный периметр и площадь живого сечения в зависимости от наибольшей глубины водотока: *a* – створ № 1, *b* – створ № 3

Fig. 4. Wetted perimeter and the section area, depending on the greatest depth of the watercourse: *a* – shot No. 1, *b* – shot No. 3

Отношение максимальной поверхностной скорости U_m к средней скорости V в сечении водотока может быть найдено по формуле Г. В. Желязнякова [16, с. 30]:

$$K = \frac{V}{U_m} = \frac{(2,3 \cdot \sqrt{g} + 0,3 \cdot C) \cdot C}{(4,1 \cdot \sqrt{g} + 0,4 \cdot C) \cdot C + g} = \frac{(2,3 + 0,3 \cdot C_S) \cdot C_S}{(4,1 + 0,4 \cdot C_S) \cdot C_S + 1}, \quad C_S = \frac{C}{\sqrt{g}}. \quad (8)$$

Средняя скорость воды по формуле Шези в приближении равномерного движения:

$$V = C(h, n) \cdot \sqrt{R(h)} \cdot I. \quad (9)$$

Выражая среднюю скорость из равенства (8) и подставляя в (9), получим уравнение

$$U_m \cdot K(C(h, n)) = C(h, n) \cdot \sqrt{R(h)} \cdot I. \quad (10)$$

Во время съемки для каждого створа были измерены величины h , U_m , I . Зависимость коэффициента Шези от h и n задается формулой (5). Следовательно, в (10) остается только одна неизвестная величина – n . Уравнение (10) в общем случае не может быть решено аналитически, необходимо применять численный метод. После этого не составит труда рассчитать расход воды:

$$Q = \omega(h) \cdot C(h, n) \cdot \sqrt{R(h)} \cdot I. \quad (11)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Результаты решения уравнения (10) численным методом по значениям параметров, измеренных в трех створах водотока, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты решения уравнения (10)

Table 2. Equation (10) solution results

Номер створа	Уклон водной поверхности I , %	Коэффициент шероховатости n	Средняя скорость V , м/с	Расход воды Q , м ³ /с
1	5,0	0,086	0,207	0,07911
2	0,65	0,080	0,143	0,06919
3	2,6	0,113	0,129	0,06066

Во время полевых измерений было установлено, что боковой приточностью ручья на участке изысканий можно пренебречь. Тогда расход во всех створах должен быть одинаковым. Различия, полученные в табл. 2, скорее всего, обусловлены погрешностью измерений. В таком случае можно добавить этап перерасчета. Рассчитать среднее значение расхода $Q_0 = 0,070 \text{ м}^3/\text{с}$ и численным методом решить для каждого створа уравнение (11). Результаты такого перерасчета представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты решения уравнения (11)

Table 3. Equation (11) solution results

Номер створа	Расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Коэффициент шероховатости n	Коэффициент Шези безразмерный C_S	Коэффициент диффузии d
1	0,07	0,093	1,096	0,264
2	0,07	0,081	1,933	0,173
3	0,07	0,104	1,042	0,249

В табл. 3 вычислены величины безразмерного коэффициента диффузии в трех расчетных створах, формула (12) следует из (4). Безразмерный коэффициент диффузии определяется шероховатостью русла и гидравлическим радиусом:

$$d = \frac{D}{V \cdot H} = \frac{1}{37 \cdot n \cdot C_S(R, n)}. \quad (12)$$

Величина d изменяется более чем на 50 % на одном малом водотоке в зависимости от условий течения (коэффициента шероховатости русла, гидравлического радиуса).

Таким образом, предложенный метод расчета позволяет найти коэффициент шероховатости русла малого водотока по данным измерений во время инженерно-гидрологических изысканий при отсутствии систематических гидрометрических наблюдений.

Изменение шероховатости русла влияет на коэффициент диффузии и должно учитываться в коэффициенте смешения при расчете нормативов допустимых сбросов веществ в малые водотоки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Quednow, K. Monitoring terbutryn pollution in small rivers of Hesse, Germany / K. Quednow, W. Püttmann // Journal of Environmental Monitoring. – 2007. – V. 9. – P. 1337-1343.
2. Геоэкологические аспекты переноса биогенных веществ трансграничными реками (на примере Калининградской области) / С. В. Шибяев [и др.] // Известия КГТУ. – 2011. – № 22. – С. 133-141.
3. Великанов, Н. Л. Расчет распространения загрязнения в реке Товарная / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов, М. Н. Великанова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 8. – С. 89-94.

4. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона / Н. Л. Великанов [и др.] // Вода: химия, экология. – 2013. – № 7. – С. 18-26.
5. Нагорнова, Н. Н. Формирование гидрологических особенностей малых рек в физико-географических условиях Калининградской области на примере реки Прохладной / Н. Н. Нагорнова, Т. А. Берникова, Н. А. Цупикова // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4. – С. 70-79.
6. Spataru, P. Influence of the interaction of calcium carbonate particles with surfactants on the degree of water pollution in small rivers / P. Spataru, F. Fernandez, J.W. Sista et al // Ecological Processes. – 2017. – V. 6:18. – URL: <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0086-4>.
7. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утверждена Приказом Минприроды России от 17.12.2007 № 333 (в ред. Приказа Минприроды России от 29.07.2014 № 339).
8. Барышников, Н. Б. Гидравлическое сопротивление речных русел / Н. Б. Барышников, А. О. Пагин // Журнал университета водных коммуникаций. – 2010. – № 2. – С. 90-93.
9. Гидравлические сопротивления движению потоков в руслах с поймами / Н. Б. Барышников [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 36. – С. 29-36.
10. Щедрин, В. Н. Совершенствование способов определения расхода воды в открытых мелиоративных каналах / В. Н. Щедрин, М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1(21). – С. 1-20.
11. Мамедов, А. Ш. О расчете коэффициента Шези речного потока / А. Ш. Мамедов // Природообустройство. – 2011. – № 3. – С. 62-67.
12. Разработка методики и автоматизированной программы определения коэффициента Шези C и относительной шероховатости n для исследований безнапорных трубопроводов / В. А. Орлов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2012. – № 3. – С. 205-210.
13. Наумов, В. А. Коэффициент шероховатости русла реки Писсы / В. А. Наумов // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2017. – Т. 3, № 3. – С. 7-13. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
14. Сулейманов, С. Н. Наблюдение за состоянием ручья Паркового в 2017 году / С. Н. Сулейманов, В. А. Наумов // Вестник молодежной науки. – 2017. – № 3 (10). – С. 21.
15. Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока: учебник / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров. – Москва: Колос, 1984. – 295 с.
16. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока: учеб. пособие / В. Е. Овчаров [и др.]. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 224 с.

REFERENCES

1. Quednow K., Püttmann W. Monitoring terbutryn pollution in small rivers of Hesse, Germany. *Journal of Environmental Monitoring*, 2007, Vol. 9, pp. 1337-1343.
2. Shibaev S. V., Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Geoekologicheskie aspekty perenosa biogennykh veshchestv transgranichnymi rekami (na primere Kaliningradskoy oblasti) [Geoecological aspects of the transfer of nutrients by transboundary rivers (by the example of the Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*, 2011, no. 22, pp. 133-141.
3. Velikanov N. L., Naumov V. A., Velikanova M. N. Raschet rasprostraneniya zagryazneniya v reke Tovarnaya [Calculation of pollution distribution in the Tovarnaya river]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 8, pp. 89-94.
4. Velikanov N. L., Naumov V. A., Markova L. V., Smirnova A. A. Rezul'taty naturnykh issledovaniy malykh vodotokov na meliorirovannykh zemlyakh regiona [Field studies results of small waterways on the reclaimed land in the region]. *Voda: khimiya, ekologiya*, 2013, no. 7, pp. 18-26.
5. Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Formirovanie gidrologicheskikh osobennostey malykh rek v fiziko-geograficheskikh usloviyakh Kaliningradskoy oblasti na primere reki Prokhladnoy [Formation of hydrological characteristics of small rivers in the physics-geographical conditions of the Kaliningrad region on the example of the Prokhladnay river]. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2014, no. 4, pp. 70-79.
6. Spataru P., Fernandez F., Sista J. W. et al. Influence of the interaction of calcium carbonate particles with surfactants on the degree of water pollution in small rivers. *Ecological Processes*, 2017, vol. 6:18. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0086-4> (Accessed 13 December 2017).
7. *Metodika razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye ob"ekty dlya vodopol'zovateley* [Development methodology of standards for permissible discharges of substances and microorganisms into water bodies for water users]. Utverzhdena prikazom Minprirody Rossii ot 17.12.2007 № 333 (v red. Prikaza Minprirody Rossii ot 29.07.2014, № 339).
8. Baryshnikov N. B., Pagin A. O. Gidravlichesкое soprotivlenie rechnykh rusel [Hydraulic drag of river beds]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy*, 2010, no. 2, pp. 90-93.
9. Baryshnikov N. B., Ovseyko P. P., Subbotina E. S., Terent'ev I. S. Gidravlicheskie soprotivleniya dvizheniyu potokov v ruslakh s poymami [Hydraulic resistance of flow in channels with floodplains]. *Uchenye zapiski RGGMU*, 2014, no. 36, pp. 29-36.
10. Shchedrin V. N., Vaynberg M. V., Churaev A. A. Sovershenstvovanie sposobov opredeleniya raskhoda vody v otkrytykh meliorativnykh kanalakh [Improving ways of determining water flow in the open drainage channels]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2016, no. 1(21), pp. 1-20.
11. Mamedov A. Sh. O raschete koeffitsienta Shezi rechnogo potoka [On calculation of the Chezy coefficient of a river flow]. *Prirodoobustroystvo*, 2011, no. 3, pp. 62-67.
12. Orlov V. A., Zotkin S. P., Orlov E. V et al. Razrabotka metodiki i avtomatizirovannoy programmy opredeleniya koeffitsienta Shezi C i otnositel'noy

sherokhovatosti n dlya issledovaniy beznapornykh truboprovodov [Development of methods and automated programme for determining the Chezy coefficient C and relative roughness n for studies of non-pressure pipelines] . *Vestnik MGSU*, 2012, no. 3, pp. 205-210.

13. Naumov V. A. Koeffitsient sherokhovatosti rusla reki Pissy [Roughness coefficient of the Pissa riverbed]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii:elektronnyy zhurnal*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 7-13. Available at: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf> (Accessed 13 December 2017).

14. Suleymanov S. N., Naumov V. A. Nablyudenie za sostoyaniem ruch'ya Parkovogo v 2017 godu [Monitoring of the Park brook in 2017]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2017, no. 3 (10), pp. 21.

15. Zheleznyakov G. V., Negovskaya T. A., Ovcharov E. E. *Gidrologiya, gidrometriya i regulirovanie stoka: uchebnyy* [Hydrology, hydrometry and flow regulation: textbook]. Moscow, Kolos Puibl., 1984, 295 p.

16. Ovcharov E. E., Zakharovskaya N. N., Proshlyakov I. V. *Praktikum po gidrologii, gidrometrii i regulirovaniyu stoka: uchebnoe posobie* [Workshop on hydrology, hydrometry and flow regulation: textbook]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988, 224 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Naumov Vladimir Arkad'evich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor; Head of the Department of water resources and water management, E-mail: van-old@rambler.ru

Сулейманов Сергей Николаевич – Калининградский государственный технический университет; студент 4-го курса строительного факультета;
E-mail: sersh447@gmail.com

Suleymanov Sergey Nikolaevich – Kaliningrad State Technical University;
4th year student of the Construction faculty;
E-mail: sersh447@gmail.com

УДК 639.2.052.32

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЯГОВОГО
УСИЛИЯ ВЫБОРКИ ТРАЛА С УЛОВОМ НА ПАЛУБУ СУДНА
ОТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СУДНО-ТРАЛ НА МОДЕЛИ ПРОМЫСЛОВОЙ
ПАЛУБЫ СУДОВ ТИПА РТМ-С

А. В. Суконнов, Н. А. Скуратов

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE PULLING
FORCE OF THE TRAWL HAULING WITH THE CATCH ON THE SHIP'S DECK
ON THE PARAMETERS OF THE SHIP-TRAWL SYSTEM ON THE MODEL
OF THE FISHING DECK OF THE RTM-S TYPE VESSELS

A. V. Sukonnov, N. A. Skuratov

На промысловых судах наблюдается значительная повреждаемость рыбных особей при выборке мешков с уловом. Это связано с большими усилиями при вытягивании, возникающими при слиповом методе подъёма мешков с уловом. Для принятия мер по снижению усилия при выборке, а соответственно, и снижению потери качества улова, были проведены эксперименты на макете промысловой палубы судов типа РТМ-С, выполненном в масштабе 1:50. Экспериментальные исследования позволили провести оценку влияния реальных факторов эксплуатации тралового лова на усилие в вытяжном конце при выборке тралового мешка. При проведении экспериментов были отобраны значимые факторы, учитывающие судовые конструкции, промысловые механизмы и конструкции орудий лова. По результату испытаний получена математическая зависимость тягового усилия в вытяжном конце от исследуемых факторов.

трал, слиповое устройство, математическая зависимость, усилие выборки, факторы, экспериментальная установка

There is a significant damage to fish in the selection of bags with catch on fishing vessels. This is due to great pulling forces that arise when the slip method of raising bags with catch is used. For taking steps to reduce the effort in hauling, and, accordingly, to reduce the loss of catch quality, experiments were carried out on the mockup of the fish deck of vessels of the RTM-S type performed on a scale of 1:50. Experimental studies have made it possible to evaluate the effect of real factors of trawling on the force in the drawing end when a trawl bag is hauled. During the experiments, significant factors have been considered that allow for ship structures, fishing gears and gear designs. Based on the results of the tests, a mathematical dependence of the pulling force in the drawing end on the studied factors has been obtained.

trawl, slip device, mathematical dependence, hauling effort, factors, experimental installation

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность работы любой рыбодобывающей единицы (судна, бригады) характеризуется количеством и качеством пойманной рыбы-сырца и ее последующей технологической обработки. На качество уловов влияют продолжительность траления, наполнение мешка, тактика и техника лова, способы выливки, усилие во время выборки и прочие факторы [1]. При этом стоит отдельно упомянуть, что на усилие в вытяжном конце, а как следствие - и на качество улова, во время подъема мешка с уловом на палубу судна оказывают воздействие форма слипа, угол наклона слипа, скорость траления, сила трения и др.

Исследования показали, что возникают пиковые нагрузки при подъеме тралового мешка из воды на пороге слипа, что приводит к перегрузке лебёдок, порыву мешков, поломке механизмов и одновременно к повреждаемости рыбы [2].

Помимо силовых воздействий, причину повреждаемости можно объяснить и с биологической точки зрения, в частности рыба портится при тралении и подъеме мешка по слипу [3]. Пока траловый мешок с уловом находится в воде, рыба имеет положительную плавучесть, которую обеспечивает ее воздушный пузырь. При подъеме мешка по слипу вода отцеживается и рыба переходит в воздушную среду, где приобретает вес [4]. Верхние слои рыбы начинают давить на нижние и повреждают их. Кроме этого, на рыбу оказывает давление и сеть тралового мешка. Поскольку уловы на больших траулерах составляют 50- 60 т, то совместное действие этих факторов приводит к высокому проценту повреждаемости рыбы - до 30% [5].

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

На протяжении нескольких десятков лет ведутся работы по снижению энергозатрат и повреждаемости рыбных особей при работе слиповым методом [6, 7]. Обзор литературы по данному вопросу показал, что имеется множество изобретений и патентов по устройствам и способам выливки, которые пока представляют собой идею и не более того. В частности, для сокращения усилия при выборке предлагается: установка рольгангов по площади слипового настила, выбор рациональной формы слипа, снижающей пиковые нагрузки на вытяжных концах, покрытие антифрикционными составами настила слипа (пенки, смолы и т.д.). Но результатов по данным мероприятиям не получено в силу различных обстоятельств, например, смолы откалывались и повреждали орудие лова, рольганги запутывали сетное полотно при спуске трала, а использование пенок приводило к материальным затратам, связанным с покупкой и большим их расходом.

Однако большая часть промысловых судов работает слиповым методом с частичным или полным поднятием мешка на судно [8, 9], что объясняется конструктивными особенностями данных судов [10]. Для решения вопросов по снижению пиковых нагрузок и повреждаемости рыбы при использовании слипов нами была поставлена задача осуществить исследование процесса подъема траловых мешков по слипам судов на экспериментальной установке, поскольку невозможно провести натурные исследования на рыболовном траулере из-за их высокой стоимости. Цель исследований состояла в установлении зависимости

тягового усилия выборки трала с уловом на палубу судна от факторов реальных условий эксплуатации траловых систем.

ПОСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Для сокращения количества экспериментальных работ, их систематизации и получения математической зависимости нами был использован метод планирования эксперимента. В исследованиях, проводившихся на слипе прямолинейной формы, применялся трёхфакторный эксперимент на двух уровнях.

В качестве значимых были отобраны факторы реальных условий эксплуатации, характеризующие судовые конструкции, промышленные механизмы и конструкции орудий лова:

1. Угол наклона слипа;
2. Угол выхода вытяжного конца;
3. Степень наполнения мешка.

Для каждого из факторов были определены диапазоны их изменений, которые обусловлены возможностями экспериментальной установки:

α - угол наклона слипа, изменяется от 10 до 30 град;

h - высота подвеса, изменяется в диапазоне от 170 до 600 мм;

G – величина, характеризующая вес мешка с имитацией улова, при постоянной плотности (940 кг/м^3) изменяется в диапазоне от 24,5 до 12,25 Н, что принимаем как 100 и 50% степени наполнения мешка соответственно.

Испытания проводились на установке, имеющейся на кафедре промышленного рыболовства, которая представляет собой макет промышленной палубы РТМ-С со слиповым устройством, изготовленный в масштабе 1:50. Установка прошла соответствующие технические регламентные работы и модернизацию в плане обеспечения современной контрольно-измерительной аппаратурой. Она состоит из слипового устройства с возможностью смены угла наклона, ванны с водой, настила промышленной палубы, блока, портала, вытяжной лебёдки.

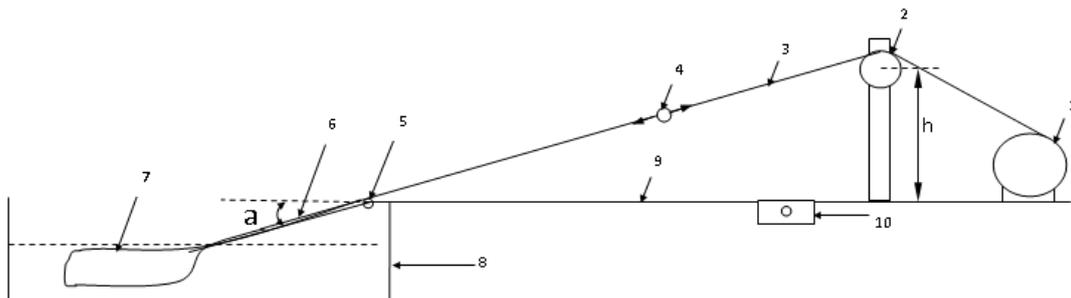


Рис. 1. Схема установки:

- 1 - вытяжная лебедка; 2 - блок; 3 - вытяжной конец; 4 - силоизмерительный комплекс МІС 200; 5 - слиповый ролл; 6 - слип; 7 - мешок с уловом; 8 - ванна с водой; 9 - палуба; 10 - пульт управления; а - устройство для изменения угла наклона слипа

Fig. 1. Installation diagram:

- 1- heaving winch; 2- block; 3- drawing end; 4- force measuring system МІС 200; 5- slip roll; 6- slip; 7- bag with catch; 8- bath with water; 9- deck; 10- control panel; а- device for changing the slope angle of the slip

Измерения усилия в вытяжном конце лебёдки при подъёме мешка с уловом по слипу судна осуществлялись силоизмерительным комплексом «МІС 200», который представляет собой силоизмерительный датчик тензометрического типа и ноутбук. На мониторе силоизмерительного комплекса выводится информация об усиллии и графическое отображение процесса.

Экспериментальные данные были сведены в таблицу.

Таблица. Проведение экспериментальных работ (с полученными результатами)

Table. Carrying out experimental works (with the obtained results)

№ п/п	Вес тралового мешка G, Н	Угол наклона слипа α , град	Высота подвеса блока h, мм	Вытяжное усилие T_{cp} , Н	Погрешность прибора в рабочих условиях эксплуатации, %
1	24,5	30	600	23,7	0,1
2	24,5	30	170	28,9	0,1
3	24,5	10	600	19,5	0,1
4	24,5	10	170	21,9	0,1
5	12,25	10	170	11,1	0,1
6	12,25	10	600	10,2	0,1
7	12,25	30	170	14,3	0,1
8	12,25	30	600	12,5	0,1

Порядок проведения работ.

В соответствии с матрицей экспериментов по каждой из строк были выполнены следующие действия:

- 1 – установили угол наклона слипа (а);
- 2 – подготовили траловые мешки (7) и заполнили их полиэтиленовыми гранулами;
- 3 – заполнили ванну (8) водой;
- 4 – установили высоту блока (2) в соответствии со строками матрицы на 170 и 600 мм;
- 5 – вытяжной конец (3) пропустили через блок (2);
- 6 – подключили силоизмерительный датчик комплекса МІС200 (4) к вытяжному концу и траловому мешку;
- 7 – с помощью лебедки (1) осуществили выборку мешка (7) по слипу на палубу (9), при этом фиксируя усилие в вытяжном конце;
- 8 – экспериментальные работы проводили для различных углов наклона слипа в соответствии с таблицей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе исследований проводились записи силовых диаграмм процесса выборки мешков с уловом. В качестве примера на рис. 2 представлена диаграмма усилия в вытяжном конце при выборке мешка ($\alpha=10^\circ$), а на рис. 3 ($\alpha=30^\circ$) при постоянном весе, плотности и угле выхода вытяжного конца, который определялся высотой подвеса блока. На рис. 2 мешок с уловом подошёл к порогу слипа на третьей секунде, а слиповой канавки он достигает на 14-й.

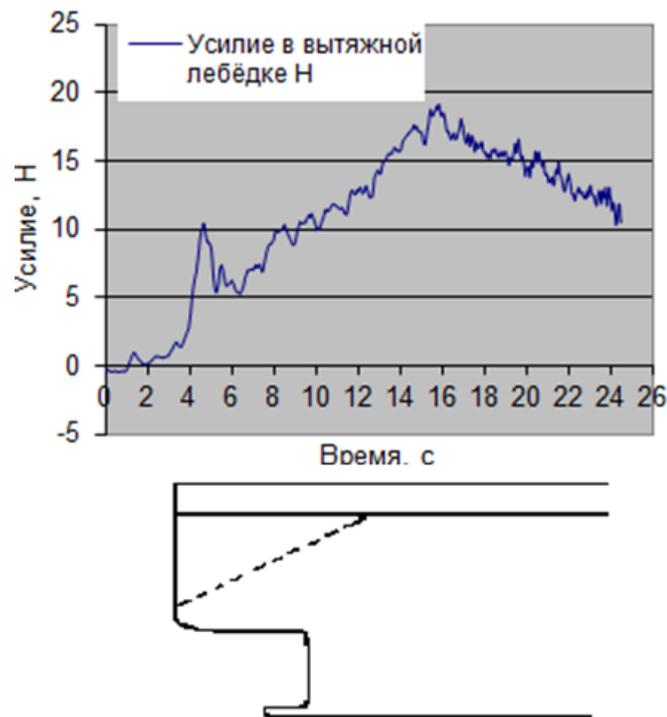


Рис. 2. Диаграмма усилия при выборке полного мешка (массой 2,5 кг) на установке с углом наклона слипа 10° и высоте установки блока $h=600$ мм
 Fig. 2. Effort diagram for hauling a full bag (2.5 kg weight) on an installation with a slope angle of 10° and height $h = 600$ mm

Анализ полученных диаграмм позволяет сделать следующие выводы: увеличение угла наклона слипа в диапазоне исследований в три раза приводит к уменьшению пиковых нагрузок на 15% при выходе мешка на порог слипа, а увеличение усилия во время прохождения мешка по слиповой канавке - на 20%.

После обработки экспериментальных данных [11], предоставленных в таблице, была получена математическая зависимость усилия в вытяжном конце вытяжной лебёдки (H) (1) от следующих факторов: угла наклона слипа, высоты подвеса блока, веса тралового мешка.

$$T = 1,776 + 0,574 * x_1 + 0,209 * x_2 - 0,129 * x_3, \quad (1)$$

где x_1 , x_2 , x_3 – значения веса мешка, угла наклона слипа и выхода вытяжного конца соответственно, записанные в кодированном виде.

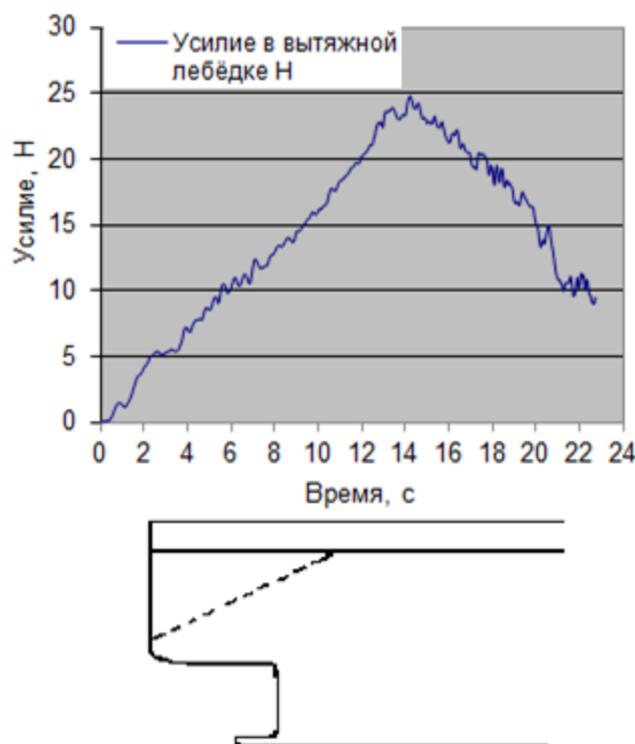


Рис. 3. Диаграмма усилия при выборке полного мешка (массой 2,5 кг) на установке с углом наклона слипа 30° и высоте установки блока $h=600$ мм
Fig. 3. Effort diagram for hauling a full bag (2.5 kg) on the installation with a slope angle of 30° and height $h = 600$ mm

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученной зависимости показал, что наибольшее влияние на усилие в вытяжном конце имеет вес тралового мешка. Следующим по значимости является угол наклона слипа. А наименьшее воздействие из рассмотренных факторов на прямой слип оказывает угол выхода вытяжного конца.

Сравнение экспериментальных данных и расчётных величин говорит об адекватности полученной зависимости, так как отклонение не превышает 8%. В дальнейшем планируется провести исследования с большим количеством факторов и различными формами слипа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбная промышленность [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/098/394.htm> (дата обращения: 08.06.2017).
2. Мельников, В. Н. Устройство орудий лова и технология добычи рыбы: учебник по спец. 3115 - Пром. рыболовство / В. Н. Мельников. - Москва: Агропромиздат, 1991. - 383 с.
3. Приемка, транспортировка и хранение. Влияние различных факторов на качество рыбы-сырца [Электронный ресурс]. – URL:

<http://ribovodstvo.com/books/item/f00/s00/z0000013/st014.shtml> (дата обращения: 05.06.2017).

4. Основные виды промысла [Электронный ресурс]. – URL: http://studbooks.net/1107186/agropromyshlennost/osnovnye_vidy_promysla (дата обращения: 05.06.2017).

5. Лушников, Е. М. Основы морского дела, судовождения и промышленного рыболовства: учебник / Е. М. Лушников, В. О. Рамм, В. П. Шупик. - Москва: Агропромиздат, 1989. - 192 с.

6. Патентный поиск. Поиск патентов и изобретений РФ и СССР [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.findpatent.ru> (дата обращения: 06.07.2017).

7. База патентов СССР [Электронный ресурс]. – URL: <http://patents.su> (дата обращения: 05.07.2017).

8. [Государственный судовой реестр](http://www.pasp.ru) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pasp.ru> (дата обращения: 11.06.2017).

9. Флот рыбной промышленности: справочник типовых судов. – 3-е изд. – Москва: Транспорт, 1990. – 384 с.

10. Зайчик, К. С. Промысловые устройства морских рыболовных судов / К. С. Зайчик. – Ленинград: Судостроение, 1972. – 232 с.

11. Наумов, В. А. Прикладная математика: учеб. пособие по решению профессиональных задач в среде MathCad / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 144 с.

REFERENCES

1. *Rybnaja promyshlennost'* [Fish industry]. Available at: <http://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/098/394.htm> (Accessed 08.06.2017).

2. Mel'nikov V. N. *Ustrojstvo orudij lova i tehnologija dobychi ryby* [Fishing gear organization and fishing technology]. Moscow, Agropromizdat, 1991, 383 p.

3. *Priemka, transportirovka i hranenie. Vlijanie razlichnyh faktorov na kachestvo ryby-syrca* [Acceptance, transportation and storage. Influence of various factors on the quality of raw fish]. Available at: <http://ribovodstvo.com/books/item/f00/s00/z0000013/st014.shtml> (Accessed 05.06.2017).

4. *Osnovnye vidy promysla* [Main types of fishing]. Available at: http://studbooks.net/1107186/agropromyshlennost/osnovnye_vidy_promysla (Accessed 05.06.2017).

5. Lushnikov E. M. *Osnovy morskogo dela, sudovozhdenija i promyshlennogo rybolovstva* [Fundamentals of Marine Affairs, Navigation and Industrial Fisheries]. Moscow, Agropromizdat, 1989, 192 p.

6. *Patentnyj poisk, poisk patentov i izobretenij RF i SSSR* [Patent search, search of patents and inventions of the Russian Federation and the USSR]. Available at: <http://www.findpatent.ru> (Accessed 06.07.2017).

7. *Baza patentov SSSR* [USSR Patent Database]. URL: <http://patents.su> (Accessed 05.07.2017).

8. *Gosudarstvennyj sudovoj reestr* [National Shipping Register]. Available at: <http://www.pasp.ru> (Accessed 11.06.2017).
9. *Flot rybnoj promyshlennosti: spravochnik tipovyh sudov* [Fishing fleet: reference book of standard vessels]. Moscow, Transport, 1990, 384 p.
10. Zajchik K. S. *Promyslovyje ustrojstva morskikh rybolovnyh sudov* [Fishing devices of sea fishing vessels]. Leningrad, Sudostroenie, 1972, 232 p.
11. Naumov V. A. *Prikladnaja matematika: uchebnoe posobie po resheniju professional'nyh zadach v srede MathCad* [Applied mathematics: tutorial on solving professional problems in MathCad]. Kaliningrad, FGBOU VPO «KGTU», 2014, 144 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Суконнов Анатолий Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства

Sukonnov Anatoly Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries

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

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

УДК 551.799 (261.24) + 502.656

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ КАЛИНИНГРАДСКОГО
ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В. А. Чечко, Б. В. Чубаренко, В. Ю. Топчая

INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS
ON FORMATION OF THE SEDIMENT LAYER OF THE KALININGRAD
BAY OF THE BALTIC SEA

V. A. Chechko, B. V. Chubarenko, V. Yu. Topchaya

Представлены результаты изучения четырех литологических колонок донных осадков, которые были отобраны в различных с точки зрения особенностей осадконакопления районах Калининградского залива, а также в гидрогавани. По всей длине колонок определялись цветовые характеристики, текстурные особенности, гранулометрический состав осадков, значения органического углерода (C_{org}) и потерь при прокаливании, влажность, наличие бентосных организмов и биотурбаций. В колонках были выявлены три характерных горизонта. Верхний (I) горизонт представлен сильно обводненными темно-серыми отложениями. Ниже, как правило, расположен ракушечный горизонт (II), который подстилается горизонтом (III) из гомогенных, зелено-серых (оливковых), обогащенных органикой илов.

Результаты исследования позволили выявить роль естественных и антропогенных факторов, оказавших влияние на формирование позднеголоценовой осадочной толщи залива. К важнейшим из них следует отнести влияние стока р. Вислы и искусственное его ограничение в 1916 г. Зарегулирование стока привело к масштабным изменениям условий осадконакопления, повлекшим за собой изменения в составе и типах донных отложений, а также отразилось на прекращении аккумуляции в заливе зеленовато-серых (оливковых) илов, обогащенных органикой и длительное время бывших наиболее распространенным типом донных осадков. Вместо них стали накапливаться темно-серые, обводненные алевритовые отложения. Произошедшее увеличение солености вод повлекло за собой массовую гибель пресноводных моллюсков и образование характерного танатоценоза в виде слоя ракушняка, ставшего своеобразным репером между более древними и современными отложениями.

осадконакопление, литологические колонки, Калининградский залив, донные осадки, органическое вещество

The paper presents study results of four lithological columns of bottom sediments. The columns were sampled from locations in the Kaliningrad bay and Hydro-harbor which were different in terms of various sedimentation conditions. Color

and textural features, grain size composition of sediments, content of organic carbon and loss on ignition, humidity, the presence of benthic organisms and bioturbations have been determined in the columns. Three characteristic layers have been identified. The upper (I) layer contains strongly watered dark gray sediments. Below, typically, there is a shell-layer (II) underlain by a layer (III) from homogeneous green-gray (olive) silt enriched with organics.

The results of the study revealed the role of natural and anthropogenic factors that influenced formation of the Late Holocene sedimentary layer of the bay. The most important of these are the influence of the Vistula river run-off and its artificial restriction in 1916. Regulation of the river discharge led to large-scale changes in conditions of sedimentation, resulting in changes in composition and types of bottom sediments. The regulation had an impact on stopping of accumulation of green-gray (olive) and organics enriched silts, which for a long time were the most common type of bottom sediments. Instead of them, dark gray and strongly watered aleuritic sediments began to accumulate in the bay. The increase in water salinity resulted in a massive death of freshwater mollusks and formation of a characteristic thanatocoenosis in the form of a shell deposit, which became a kind of border between older and modern sediments.

sedimentation, lithological columns, Kaliningrad bay, bottom sediments, organic matter

ВВЕДЕНИЕ

Усиленное антропогенное воздействие на естественный ход процессов в береговой зоне морей отмечается повсеместно [1-4]. В связи с этим повышенное внимание исследователей привлекают водные объекты с интенсивной хозяйственной деятельностью. К ним относится и Вислинский залив - крупнейший мелководный (максимальная глубина 5.2, средняя – 2.7 м) бассейн лагунного типа Балтийского моря [5], расположенный в его юго-восточной части. Это трансграничный водоем с площадью водного зеркала 838 км², из которых 570 км² – российская часть (Калининградский залив). Вдоль его северного берега проложен морской канал с круглогодичным судоходством, по берегам которого создаются новые причалы, портовые комплексы и нефтяные терминалы. В акватории залива ведется рыбный промысел, добыча нерудных полезных ископаемых, с каждым годом возрастает его роль как рекреационного объекта.

Одним из широко используемых естественных индикаторов состояния водных экосистем и масштаба техногенного влияния на них считаются донные отложения как продукт источников сноса и обстановки осадконакопления. Они способны фиксировать в своем составе природно-антропогенные изменения, происходящие в водоемах и их водосборных бассейнах за всю историю накопления осадочной толщи [1, 6-8].

Цель данной работы – выделение в осадочной толще залива литолого-стратиграфических единиц, соответствующих определенным стадиям современного и позднеголоценового осадконакопления, и оценка факторов, повлиявших на их формирование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для статьи послужили литологические колонки, отобранные в Калининградском заливе в 2017 г. на четырех станциях, расположенных в наиболее глубоких частях залива в пределах основных зон седиментации. Для отбора использовали штанговую геологическую трубу диаметром 72 мм с мягким полиэтиленовым вкладышем, после подъема которой на борт плавсредства колонка осадков выталкивалась в пластиковый лоток и описывалась. После детального описания и определения цветовых характеристик по шкале цвета [9] из нее отбирались пробы, которые упаковывались в пластиковые пакеты, этикетировались и отправлялись в лабораторию для камеральных исследований (гранулометрический анализ, определение естественной влажности, содержания общего органического вещества и органического углерода ($C_{орг}$), наличия раковин моллюсков и раковинного детрита).

Гранулометрический анализ выполнялся ситовым и водно-механическим методами [10]. По его результатам производилась типизация донных осадков по классификации [11] и были выделены следующие гранулометрические типы: пески (крупнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые), крупные алевриты, мелкоалевритовые и алеврито-пелитовые илы.

Влажность осадков определяли в процентном выражении как отношение массы воды, удаленной из пробы высушиванием до постоянной массы, к массе высушенной пробы [12]. Содержание $C_{орг}$ определяли на экспресс-анализаторе АН-7529 методом автоматического титрования по величине РН (аналитик Н.Г. Кудрявцев). Содержание общего количества органического вещества в донных осадках вычисляли весовым методом [13] – прокаливанием пробы при температуре 550 °С. Потерю массы при этом условно принимали за массовую долю органического вещества.

Мощность иловых отложений измерялась ручным буром геолога на двух поперечных профилях (рис. 1), который опускали на дно и посредством физических усилий погружали в мягкие илы. Достигнув более плотных отложений, его проворачивали по часовой стрелке для отбора пробы специальной насадкой, закрепленной в нижней оконечности бура. Затем бур вынимался, рулеткой измерялась глубина погружения и рассчитывалась мощность иловых отложений.

Всего было отобрано четыре колонки донных осадков, выполнено 15 определений мощности иловых отложений, 92 пробы донных осадков подвергнуты гранулометрическому анализу, в 19 из них установлено содержание органического углерода ($C_{орг}$), в 67 – общего органического вещества, в 36 пробах произведена оценка влажности осадков.

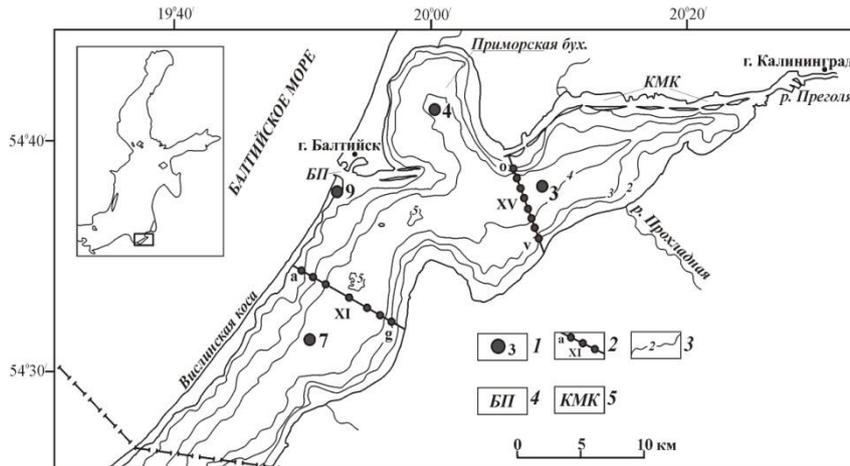


Рис. 1. Схема района исследований:

- 1 – станции отбора колонок донных осадков; 2 – литологические профили со станциями определения мощности иловых отложений; 3 – изобаты, м;
4 – Балтийский пролив; 5 – Калининградский морской канал

Fig. 1. The scheme of the study area:

- 1 – sediment sampling points; 2 – lithological transects with points to determine the depth of upper mud layer; 3 – isobaths, m; 4 – the Strait of Baltiysk;
5 – Kaliningrad Seaway Canal

РЕЗУЛЬТАТЫ

Донные отложения Калининградского залива являются голоценовыми образованиями различной мощности, их литологический состав характеризуется неоднородностью и большой изменчивостью. В поверхностном (0-10 см) слое выделены следующие типы осадков: валунно-галечные, пески, крупные алевриты, мелкоалевритовые и алеврито-пелитовые илы [14, 15].

Валунно-галечные отложения и крупнозернистые пески имеют локальное распространение, в основном в местах, где обнажаются моренные образования последнего оледенения. Массивы среднезернистых и мелких песков развиты на юго-восточном мелководье, в восточной половине Приморской бухты, а также напротив Балтийского пролива. Крупные алевриты распространены в виде узкой полосы мористее внешнего края песчаных отложений, на участке между мысом Северным и Балтийским проливом ими покрыто практически все дно. Мелкоалевритовыми илами заняты все наиболее углубленные участки дна. Алеврито-пелитовые илы в Калининградском заливе встречаются редко, в виде небольших пятен в юго-западной части залива и Приморской бухте.

Прямое измерение мощности иловых отложений показало ее заметную изменчивость. Максимальная (более 6 м) толщина илов, накопленных за всю историю существования залива, обнаружена в его срединной, углубленной части. На расположенных здесь станциях бур не доходил до материнских отложений, подстилающих лагунные илы. Слой ила уменьшался по мере приближения к прибрежным мелководным участкам, где он впоследствии замещался крупноалевритовыми или песчаными отложениями.

В вертикальном строении осадков можно выделить три характерных горизонта. Верхний горизонт (I) представлен темно-серыми обводненными илами, ниже располагается ракушечный горизонт (II), который подстилается горизонтом

(III) гомогенных, более плотных илов оливковых оттенков (рис. 2). Исключением является колонка, отобранная на ст. 9 в гидрогавани, в которой выделяется только верхний (I) горизонт темно-серых алевроитовых отложений.

Толщина верхнего горизонта (I) варьирует от 15 см (ст. 4) до 80 см (ст. 9). По содержанию (от 46 до 50 %) преобладающей фракции 0.1- 0.05 мм в нем распространены крупноалевритовые образования с большой долей (36-38 %) мелкоалевритовых частиц. Во влажном состоянии они представляют сильно обводненные (естественная влажность колеблется в диапазоне 80-110 %) творожистые осадки темно-серых (*dunkelgrau*, *schwarzgrau*) оттенков, имеющих жидкую и текуче-жидкую консистенцию.

Содержание органического углерода ($C_{орг}$) в отложениях верхнего слоя меняется в диапазоне 0.84 – 1.07 %, а величина потерь при прокаливании (ППП) – от 5 до 7 %. Как правило, на поверхности осадков встречается серовато-коричневая окислительная пленка (наил) толщиной 2-3 мм. В осадках верхнего слоя присутствуют многочисленные полихеты, олигохеты, брюхоногие моллюски, остракоды, а также новый вселенец в Вислинский залив – моллюск *Rangia cuneata*, деятельность которых привела к образованию своеобразных биотурбационных текстур [16-18].

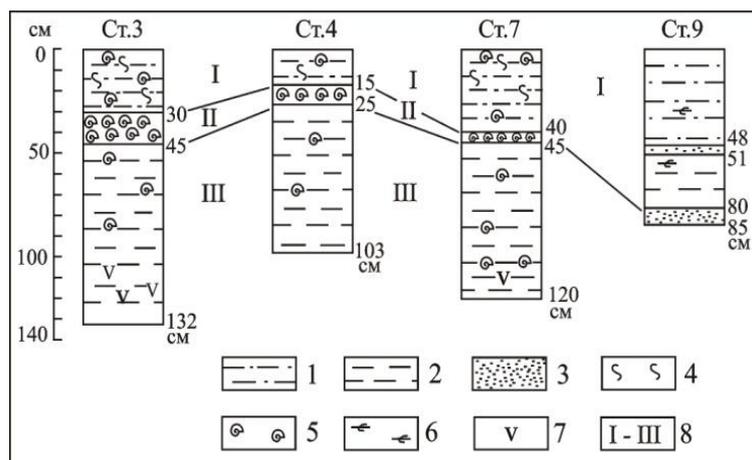


Рис. 2. Колонки донных осадков Калининградского залива:

- 1 – темно-серые крупные алевроиты; 2 – оливковые мелкоалевритовые илы; 3 – пески; 4 – биотурбации; 5 – раковины, раковинный детрит; 6 – фрагменты неразложившихся растений; 7 – вивианит; 8 – горизонты

Fig. 2. Sediment cores sampled in the Russian part of the Vistula Lagoon:

- 1 – dark-grey coarse aleurite; 2 – olive fine aleuritic mud; 3 – sands; 4 – bioturbations; 5 – shells and shelly detritus; 6 – fragments of undegraded vegetation; 7 – vivianite; 8 – layers

Средний (II) слой представлен скоплением в осадочных отложениях большого количества обломков и целых раковин пресноводных моллюсков *Dreissena polymorpha*, гастропод *Bithynia tentaculata*, *Potamorygus jenkinsi*, остракод, а также ракушечного детрита. В связи с этим мы сочли возможным идентифицировать его как «ракушечный горизонт». В восточной части залива и в Приморской бухте он залегает под темно-серыми илами. На мелководьях, подверженных активному ветроволновому воздействию, ракушечный горизонт

обнаруживается на поверхности дна. Его мощность в восточной части залива колеблется в диапазоне 10-15 см, на юго-западе он выражен не так отчетливо, а его толщина не превышает 5 см.

Нижний (III) горизонт сложен гомогенными темно-серо-оливковыми (Dunkelgrauoliv) и темно-оливковыми (Dunkeloliv), более плотными илами. В колонках с хорошо развитым ракушечным горизонтом темно-оливковые (Dunkeloliv) илы залегают непосредственно под ним. В колонке 7, где ракушечный горизонт выделяется слабо, под ним залегают темно-серо-оливковые илы, которые с глубиной постепенно сменяются темно-оливковыми.

По содержанию (50-69 %) преобладающей фракции 0.05-0.01 мм в нижнем горизонте развиты мелкоалевритовые илы с примесями крупноалевритовых (13-30 %) и пелитовых (8-16 %) частиц. Они отличаются более высокими значениями $C_{орг}$ и потерь при прокаливании, которые в нижней части горизонта достигают, соответственно, 3.96 и 18 %. Характерными для этого горизонта являются вкрапления и пятна (около 1.5 см в диаметре) вивианита, отмеченные в колонках на горизонтах 110 – 130 см.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение в колонках осадков трех характерных горизонтов (литолого-стратиграфических единиц) свидетельствует, что формирование осадочной толщи залива происходило в несколько этапов, отражающих изменения, произошедшие в местных обстановках осадконакопления. Это, в свою очередь, позволяет сделать предположение о доминирующем влиянии тех или иных факторов на процессы аккумуляции осадочного вещества в заливе в различные периоды.

Продолжительное время главным источником осадочного материала залива являлась р. Висла, ежегодно поставлявшая в залив через р. Ногат 300-400 тыс. т аллювия, что в 4-5 раз превышало объем твердого стока остальных рек бассейна залива [19]. Сложившееся несоответствие между энергетической возможностью (гидродинамической активностью) залива и объемом поступающего с речным стоком осадочного материала способствовало интенсивному накоплению оливковых, обогащенных органикой илов, характерных для нижнего (III) горизонта.

Важнейшей характеристикой донных отложений является органическое вещество (ОВ), которое оценивается по содержанию органического углерода ($C_{орг}$) или по потерям при прокаливании (ППП) и значительная доля которого поступает с речными водами. Это и явилось, вероятно, причиной наиболее высоких содержаний $C_{орг}$ и ППП в III горизонте, превышающих, в среднем, более чем в 2 раза их содержания в I горизонте. Так, содержание $C_{орг}$ в нижнем (III) горизонте составляет, в среднем, 2.15 %, а в верхнем (I) – 0.9 %, значения ППП равны, соответственно, 14.6 и 6.5 % (рис. 3).

Достаточно монотонное увеличение значений $C_{орг}$ и ППП по вертикали в нижнем горизонте свидетельствует о стабильном характере поступления ОВ в донные отложения и о неизменности источника его поступления в период доминирования речного фактора. О специфических условиях осадкообразования с большим количеством ОВ указывают вкрапления и пятна вивианита, обнаруженные в нижнем горизонте колонок.

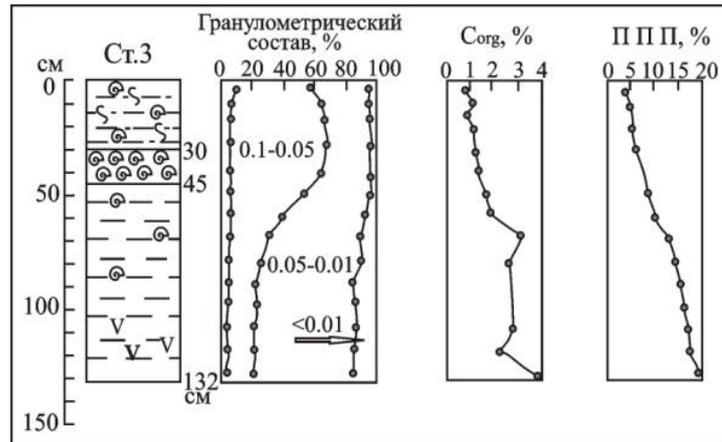


Рис. 3. Колонка 3. Литология, гранулометрический состав, значения $C_{орг}$ и потерь при прокаливании (ППП). Условные обозначения на рис. 2
 Fig. 3. Sediment core No 3. Lithology, grain size, content of organic carbon and loss on ignition. Legend is presented in Fig. 2

В период речного влияния в котловине залива происходило, преимущественно, осаждение и накопление тонкого осадочного материала. В отложениях III горизонта устойчиво преобладают (50-69 %) мелкоалевритовые частицы с высокой долей пелитового компонента (в среднем около 15 %, по сравнению с 4 % пелитового материала в верхнем горизонте).

Согласно гипотезе [20] возникновение ракушечного горизонта (II) связано с изменением гидрологических условий после искусственного зарегулирования в 1916 г. стока р. Ногат. Последовавшее увеличение солености вод залива повлекло за собой гибель пресноводных моллюсков и образование характерного танатоценоза в виде слоя ракушняка. В юго-западной половине он выделяется слабо, изменение гидрологических условий отразилось здесь прекращением отложений обогащенных органикой оливковых илов.

Таким образом, ракушечный горизонт является естественным маркером, промежуточным слоем, разделяющим осадки, сформированные в различных седиментационных обстановках. Если осадки III горизонта накапливались в обстановке доминирования речного стока, то отложения I горизонта - в современной обстановке, сложившейся 100 лет назад после снижения речного стока, когда главное влияние на осадконакопление стали оказывать ветровое волнение и водообмен с морем [21-23].

Серьезные изменения в условиях осадконакопления не могли не привести к таким же изменениям в составе современных осадков (под которыми мы понимаем донные отложения, сформировавшиеся в последние 100 лет). Так, в верхнем (I) горизонте уже не встречаются типичные для нижнего горизонта оливковые илы, а развиты сильно обводненные темно-серые алевритовые отложения. Они бедны ОВ, значения $C_{орг}$ и ППП незначительны и мало меняются в пределах горизонта по вертикали (в среднем 0.9 и 6.5 % соответственно). Этот факт, а также отсутствие видимой слоистости свидетельствуют о регулярном взмучивании и перемешивании осадков. В их составе преобладают крупные алевриты, а наиболее тонкого пелитового материала содержится не более 4 %.

Это объясняется большой ролью в современном осадконакоплении ветро-волнового взмучивания, при котором происходит частичный вынос в море поступающего в залив тонкого материала [24-26]. Такой процесс можно отнести к эффективному механизму самоочищения донных осадков, так как загрязнения, аккумуляруемые илистыми частицами, выносятся вместе с ними в море.

Подтверждением влияния антропогенного фактора (ограничение речного стока) на серьезные изменения режима седиментации, повлекшие за собой прекращение отложений оливковых илов и формирование других типов осадков, явились результаты изучения колонки 9. Она была отобрана в гидрогавани, построенной в 30-х гг. прошлого века, т. е. уже после ограничения речного стока. В ней не было выявлено оливковых, обогащенных органикой илов. По всей длине колонки, до подстилающих песков, распространены только темно-серые отложения, характерные для современного этапа седиментации.

ВЫВОДЫ

1. В результате изучения колонок донных отложений была выявлена литолого-стратиграфическая неоднородность осадочной толщи залива.

2. Полученные данные свидетельствуют, что формирование позднеголоценовой осадочной толщи включает в себя два этапа: этап преобладающего влияния речного стока (до 1916 г.), и этап, последовавший после его искусственного ограничения (этап современного осадконакопления).

3. В период преобладающего влияния речного стока в котловине залива происходило, преимущественно, накопление оливковых, обогащенных органикой мелкоалевритовых илов.

4. После искусственного ограничения стока р. Ногат важнейшими факторами осадкообразования стали ветро-волновое взмучивание донных осадков и водообмен с морем через Балтийский пролив, в результате чего в заливе стали накапливаться более грубые современные темно-серые алевритовые отложения.

5. Более древние и современные осадки, соответствующие различным обстановкам осадконакопления, разделяет ракушечный горизонт, образовавшийся из-за гибели пресноводных моллюсков после увеличения солености вод залива.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0012).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геоэкология шельфа и берегов морей России / Н. А. Айбулатов [и др.]. – Москва: Ноосфера, 2001. – 428 с.

2. Долотов, Ю. С. Проблемы освоения морских побережий, берегозащиты и охраны прибрежной природной среды / Ю. С. Долотов // Океанология. – 1987. – Т. 27, № 2. – С. 344-346.

3. Крыжановский, Р. А. Эффективность освоения и использования ресурсов береговой зоны Мирового океана / Р. А. Крыжановский. – Ленинград: Недра, 1989. – 151 с.

4. Сафьянов, Г. А. Береговая зона океана в XX веке / Г.А. Сафьянов. – Москва: Мысль, 1978. – 263 с.

5. Навроцкая, С. Е. Тенденции изменения уровня моря в лагунах юго-восточной Балтики / С. Е. Навроцкая, Б. В. Чубаренко // *Океанология*. – 2013. – Т. 53, № 1. – С. 17-28.
6. Hirschberg, D.J., Chin, P., Feng, H. & Cochran, J.K. 1996: Dynamics of sediment and contaminant transport in the Hudson River estuary: evidence from sediment distribution of naturally occurring radionuclides. *Estuaries* 19, - P.931 – 949.
7. Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D. et al. 1989: Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. *Environmental Sciences and Technology* 23. - P.314 – 320.
8. Чубаренко, Б. В. Анализ зон вторичного загрязнения акваторий Калининградского и Куршского заливов / Б. В. Чубаренко // *География и природные ресурсы*. – 1994. – № 3. – С. 33-40.
9. *Geology colours of rocks*. Ministerium fur Geologie. - Berlin. 1979. - 24 p.
10. Петелин, В. Н. Гранулометрический анализ морских донных осадков / В. Н. Петелин. – Москва: Наука, 1967. – 129 с.
11. Безруков, П. Л. Классификация осадков современных водоемов / П. Л. Безруков, А. П. Лисицын // *Труды Ин-та океанол. АН СССР*. – 1960. – Т. 32. – С. 3-14.
12. Методические рекомендации по лабораторному изучению инженерно-геологических свойств донных осадков. – Ленинград: Министерство геологии СССР, 1986. – 52 с.
13. Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. - № 25. - P.101-110.
14. Chechko V.A., Blazchishin A. I. Bottom deposits of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea // *Baltica*. 2002. - Vol. 15. - P. 13-22.
15. Blazchishin A. I. The sediments of the Vistula Lagoon // Emelyanov E.M. (ed.). *Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea*. - Kaliningrad, Yantarny Skaz, 2002. - P. 349-352.
16. Ежова, Е. Е. Макрозообентос Вислинского залива / Е. Е. Ежова, Л. В. Рудинская, М. В. Павленко-Лятуш // *Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа*. – Москва: Научный мир, 2004. – С. 146-164.
17. Ezhova E, Chechko V. Peculiarities of bioturbation in the Vistula Lagoon, Baltic Sea / *Baltic Sea Science Congress. Abstracts*. - Rostock, 2007. - P.110.
18. Рудинская, Л. В. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* в Вислинский залив Балтийского моря / Л. В. Рудинская, А. А. Гусев // *Российский журнал биологических инвазий*. – 2012. – № 2. – С. 115-127.
19. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Н. Н. Лазаренко, А. Маевский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 279 с.
20. Blazchishin A. I. Zur Geoekologie des Kurischen und des Frischen Haffs // *Schriftenr. f. Geowiss.* - Berlin, 1998. - V. 7. - P. 39-57.
21. Чечко, В. А. Особенности седиментации в эстуариях лагунного типа (на примере Вислинской и Куршской лагун Балтийского моря) // *Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Иванова*. – Москва: Науч. мир, 2004. – С. 172–175.

22. Chechko V. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon / Transboundary water and basins in the South-East Baltic / ed. B.V. Chubarenko – Kaliningrad: Terra Baltica. 2008. - P. 246-251.

23. Чечко, В. А. Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря: автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.28 / Чечко Владимир Андреевич; ИОРАН. – Москва, 2006. – 23 с.

24. Blazchishin A., Chechko V. Sedimentation and resuspension rates in the Vistula Lagoon / The fifth marine geological conference. Abstracts. - Vilnius, 1997. - P. 17.

25. Chubarenko B., Chechko V., Kurchenko V. Suspended sediment studies in the Vistula Lagoon and its navigational canal / Sediment Transport in Rivers and Transitional Waters. - Gdansk, 2005. - P. 40-45.

26. Chubarenko B.V., Chubarenko I.P. New way of natural geomorphological evolution of the Vistula Lagoon due to crucial artificial influence / Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea / ed. E.M. Emelyanov. – Kaliningrad: Yantarny Skaz. 2002. – P. 372-375.

REFERENCES

1. Aybulatov N. A. *Geoekologiya shel'fa i beregov morey Rossii* [Geocology of shelf and shores of Russian seas]. Moscow, Noosfera, 2001, 428 p.

2. Dolotov Yu. S. Problemy osvoeniya morskikh poberezhnykh, beregozashchity i okhrany pribrezhnoy prirodnoy sredy [Problems of exploitation of sea coasts, coastal protection and protection of the coastal natural environment]. *Okeanologiya*, 1987, vol. 27, no. 2, pp. 344-346.

3. Kryzhanovskiy R. A. *Effektivnost' osvoeniya i ispol'zovaniya resursov beregovoy zony Mirovogo okeana* [Effectiveness of the development and use of resources of the coastal zone of the World oceans]. Leningrad, Nedra, 1989, 151 p.

4. Saf'yanov G. A. *Beregovaya zona okeana v XX veke* [Coastal zone of the ocean in the XX century]. Moscow, Mysl', 1978, 263 p.

5. Navrotskaya S. E. Tendentsii izmeneniya urovnya morya v lagunakh Yugo-vostochnoy Baltiki [Tendencies of sea-level changes in the lagoons of the southeastern Baltic sea]. *Okeanologiya*, 2013, vol. 53, no. 1, pp. 17-28.

6. Hirschberg D. J., Chin P., Feng H. et al. 1996: Dynamics of sediment and contaminant transport in the Hudson River estuary: evidence from sediment distribution of naturally occurring radionuclides. *Estuaries*, no. 19, pp. 931-949.

7. Windom H. L., Schropp S. J., Calder F. D. et al. 1989: Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States. *Environmental Sciences and Technology*, no. 23, pp. 314-320.

8. Chubarenko B. V. Analiz zon vtorichnogo zagryazneniya akvatorii Kaliningradskogo i Kurshskogo zalivov [Analysis of secondary pollution zones of the waters of the Vistula and Curonian lagoons]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1994, no. 3, pp. 33-40.

9. Geology colours of rocks. Ministerium fur Geologie. Berlin, 1979, 24 p.

10. Petelin V. N. *Granulometricheskii analiz morskikh donnykh osadkov* [Grain-size analysis of marine bottom sediments]. Moscow, Nauka, 1967, 129 p.

11. Bezrukov P. L., Lisitsyn A. P. Klassifikatsiya osadkov sovremennykh vodoemov [Classification of the sediments of the present-day water reservoirs]. *Trudy Instituta okeanologii AN SSSR* [Proceedings of Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences]. Moscow, 1960, vol. 32, pp. 3-14.

12. *Metodicheskie rekomendatsii po laboratornomu izucheniyu inzhenerno-geologicheskikh svoystv donnykh osadkov* [Methodical guidelines for laboratory study of geotechnical properties of sediments]. Leningrad, Ministerstvo geologii SSSR. 1986, 52 p.

13. Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*. 2001, no. 25, pp. 101-110.

14. Chechko V. A., Blazhishin A. I. Bottom deposits of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. *Baltica*, 2002, vol. 15, pp. 13-22.

15. Blazhishin A. I. The sediments of the Vistula Lagoon. *Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea*, ed. by E. Emelyanov. Kaliningrad, Yantarny Skaz, 2002, pp. 349-352.

16. Ezhova E. E., Rudinskaya L. V., Pavlenko-Lyatun M. V. Makrozoobentos Vislinskogo zaliva [Macrozoobenthos of the Vistula lagoon]. *Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa* [Common factors of hydrobiological regime of different water bodies]. Moscow, Nauchnyy mir, 2004, p. 146-164.

17. Ezhova E. E., Chechko V. V. Peculiarities of bioturbation in the Vistula Lagoon, Baltic Sea. *Baltic Sea Science Congress. Abstracts*. Rostock, 2007, p. 110.

18. Rudinskaya L. V., Gusev A. A. Vselenie Severoamerikanskogo dvustvorchatogo mollyuska *Rangia cuneata* v Vislinskiy zaliv Baltiyskogo morya [Invasion of the North American bivalve mollusk *Rangia cuneata* in the Vistula lagoon of the Baltic sea]. *Rossiyskiy Zhurnal Biologicheskikh Invaziy*. 2012, no. 2, pp. 115-127.

19. *Gidrometeorologicheskiy rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological conditions of the Vistula lagoon]. Leningrad, *Gidrometeoizdat*, 1971, 279 p.

20. Blazhishin A. I. Zur Geoekologie des Kurischen und des Frischen Haffs. *Schriftenr. f. Geowiss.* Berlin, 1998, vol. 7, pp. 39-57.

21. Chechko V. A. *Osobennosti sedimentatsii v estuariyakh lagunnogo tipa* [Sedimentation features in the estuaries of lagoon type]. *Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodoemov raznogo tipa* [Common factors of hydrobiological regime of different water bodies]. Moscow, Nauchnyy mir, 2004, pp. 172-175.

22. Chechko V. A. Spatial structure and evolution of bottom sediments in the Vistula Lagoon. *Transboundary water and basins in the South-East Baltic*, ed. by B. Chubarenko. Kaliningrad, Terra Baltica, 2008, pp. 246-251.

23. Chechko V. A. *Protsessy sovremennogo osadkoobrazovaniya v Visliskom zalive Baltiyskogo morya: avtoref. diss. kand. geol-mineral. nauk* [Processes of recent sedimentation in the Vistula Lagoon of the Baltic sea. Abstract of dis. dr. sci.]. Moscow, 2006, 23 p.

24. Blazhishin A., Chechko V. Sedimentation and resuspension rates in the Vistula Lagoon. The fifth marine geological conference. Abstracts. Vilnius, 1997, p. 17.

25. Chubarenko B., Chechko V., Kurchenko V. Suspended sediment studies in the Vistula Lagoon and its navigational canal. *Sediment Transport in Rivers and Transitional Waters*. Gdansk, 2005, pp. 40-45.

26. Chubarenko B. V., Chubarenko I. P. New way of natural geomorphological evolution of the Vistula Lagoon due to crucial artificial influence. *Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea*, ed. by E. Emelyanov. Kaliningrad, Yantarny Skaz, 2002, pp. 372-375.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чечко Владимир Андреевич – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук; E-mail: che-chko@mail.ru

Chechko Vladimir Andreevich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; PhD in Geology and Mineralogy, Senior Researcher; E-mail: che-chko@mail.ru

Чубаренко Борис Валентинович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; заведующий лабораторией прибрежных систем, кандидат физико-математических наук; E-mail: chuboris@mail.ru

Chubarenko Boris Valentinovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; PhD in Physics and Mathematics, Head of Laboratory; E-mail: chuboris@mail.ru

Топчая Виктория Юрьевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; научный сотрудник; E-mail: piwis@mail.ru

Topchaya Viktoriya Yurievna – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Researcher; E-mail: piwis@mail.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.9.022

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА И ОБРАЗОВАНИЯ
ПРИСОЕДИНЕННОЙ КАВЕРНЫ ПРИ РЕЗАНИИ РЫБЫ

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

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE MATERIAL STRAIN RECOVERY
PROCESS AND ATTACHED CAVITY FORMATION WHILE CUTTING THE FISH

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

Показана актуальность исследования процесса восстановительной деформации и образования присоединенной каверны при резании рыбы с целью минимизации энергетических затрат. На основе решения дифференциального уравнения состояния вязкоупругого материала разработаны математические модели для определения относительной восстановительной деформации, а также объема присоединенной каверны. Предложены математические модели для расчета безразмерной приведенной относительной деформации и безразмерного приведенного объема присоединенной каверны. Установлено, что с повышением скорости ножа существенно возрастает мгновенная восстановительная деформация материала, длительнее протекает запаздывающая деформация, а координата крайней точки каверны монотонно увеличивается и достигает предела. С ослаблением жесткости материала, а также с увеличением высоты ножа снижается мгновенная восстановительная деформация и значительно длительнее происходит запаздывающая деформация. Зависимость безразмерного приведенного объема каверны от безразмерной скорости ножа является немонотонной функцией с явно выраженным максимумом. При отношениях модулей упругости материала 4, 7, 10, 15 безразмерная приведенная относительная деформация составляет 0.131, 0.134, 0.135, 0.137 соответственно. При тех же отношениях модулей упругости материала и безразмерных скоростях ножа 0.96, 0.93, 0.91, 0.90 достигаются максимумы безразмерного приведенного объема присоединенной каверны 1.233, 2.451, 3.707, 5.833 соответственно. При безразмерных высотах ножа 1.5, 2, 2.5, 3 и безразмерных его скоростях 0.64, 0.93, 1.24, 1.56 достигаются максимумы безразмерного приведенного объема присоединенной каверны 1.571, 2.451, 3.312, 4.165 соответственно. Объем каверны непосредственно связан с энергетическими потерями, обусловленными диссипацией энергии в материале. Уменьшение каверны за счет увеличения скорости ножа или сокращения его высоты приводит к снижению количества вязкоупругой энергии, безвозвратно рассеянной в материале вследствие релаксации напряжений. В целях использования аккумулированной в материале энергии и снижения деформационной силы трения рекомендовано снабжать нож задними наклонными гранями.

рыба, резание, нож, грань, реология, вязкоупругость, деформация, каверна, сила, трение, модель, моделирование

The paper shows the relevance of the study of the strain recovery process and formation of an attached cavity during fish cutting with the aim of minimizing energy costs. Based on the solution of the differential equation of viscoelastic material state, mathematical models have been developed to determine the relative strain recovery, as well as to determine the attached cavity volume. Mathematical models for calculating the dimensionless reduced relative strain and the dimensionless reduced volume of the attached cavity have been proposed. It has been established that with an increase in the knife speed, the instantaneous strain of the material increases substantially, the delayed strain proceeds longer, and the coordinate of the cavity extreme point increases monotonically and reaches a limit. With the decrease in the material rigidity, and also with the increase in the lateral face, instantaneous strain decreases and a delayed strain takes place much longer. The dependence of the dimensionless reduced cavity volume on the dimensionless knife speed is a nonmonotonous function with an explicit maximum. At the ratio of the material elastic modulus of 4, 7, 10, 15, the dimensionless reduced relative strain is 0.131, 0.134, 0.135, 0.137, respectively. At the same ratio of the material elastic modulus and the dimensionless knife speeds of 0.96, 0.93, 0.91, 0.90, the maxima of the dimensionless reduced attached cavity volume of 1.233, 2.451, 3.707, 5.833 are reached, respectively. With dimensionless lateral face lengths of 1.5, 2, 2.5, 3 and dimensionless knife speeds of 0.64, 0.93, 1.24, 1.56, the maxima of the dimensionless reduced volume of the attached cavity are 1.571, 2.451, 3.312, 4.165, respectively. The volume of the cavity is directly related to the energy losses caused by energy dissipation in the material. Reducing the cavity by increasing the knife speed or reducing the length of its lateral face leads to a decrease in the amount of viscoelastic energy irretrievably dispersed in the material due to stress relaxation. In order to use the energy accumulated in the material and reduce the deformation frictional force, it is recommended to supply the knife with the rear inclined faces.

fish, cutting, knife, face, rheology, viscoelasticity, deformation, cavity, force, friction, model, simulation

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время резание рыбы лезвием является основным технологическим процессом при первичной обработке сырья. Резание осуществляется ножами различных видов, которые приводятся в движение электродвигателями. Для научно обоснованного выбора геометрии лезвия, а также определения параметров электропривода необходимо знать полезные и вредные силы сопротивлений, приложенные к лезвию со стороны объекта обработки [1].

Настоящая работа является продолжением исследований авторов [2 – 5]. В [2, 3] выполнено математическое моделирование процесса погружения дискового ножа в пищевой материал. В [4] разработаны математические модели сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы в одномерной постановке. В [5] также проведено математическое моделирование сил нормального контактного давления на боковые грани ножа. В указанных работах отмечено, что силы нормального контактного давления на наклонные и боковые грани существенно зависят от глубины погружения ножа,

геометрии лезвия, реологических свойств материала, а также скорости движения ножа.

Авторами экспериментально исследованы структурно-механические свойства рыбы. В результате подбора и идентификации механической модели реологических свойств сырья показано, что механическому поведению ткани рыбы соответствует трехэлементная модель вязкоупругого материала – модель Кельвина (стандартное вязкоупругое тело). При этом принято допущение, что вязкоупругость имеет линейный характер.

Математическое моделирование сил нормальных контактных давлений на грани ножа проведено с целью определения деформационных сил трения, результирующая которых является силой вредных сопротивлений при резании рыбы. В работах [4, 5] силы нормальных контактных давлений на различные грани ножа определяются путем решения дифференциального уравнения состояния вязкоупругого материала (уравнения Кельвина) при установившемся режиме резания. Результат решения уравнения для наклонных граней ножа [4] является краевым условием при решении уравнения для боковых граней [5].

При резании ножом в вязкоупругом материале происходит диссипация энергии вследствие релаксации напряжений. Поэтому следует установить, какое количество энергии безвозвратно рассеивается в виде теплоты, а также какое ее количество высвобождается и может совершить работу после прекращения контакта материала с ножом, для чего необходимо исследовать процесс восстановительной деформации материала и образования присоединенной каверны. Целью математического моделирования является определение зависимостей восстановительной деформации и объема присоединенной каверны от скорости резания, реологических свойств материала и геометрии ножа.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА

Используя дифференциальное уравнение состояния материала [4] и выражение для нормального контактного давления на боковую грань [5], исследуем восстановительную деформацию ткани рыбы после прекращения контакта материала с ножом. Для этого необходимо определить восстановительную деформацию материала после мгновенного снятия внешней нагрузки в крайней контактной точке E (рис. 1). Вместе с тем надо знать величину нормального контактного давления на боковую грань ножа в указанной точке.

Перейдем к подвижной системе координат (x, y) , связанной с режущей кромкой ножа. Пусть нож имеет двухстороннюю заточку и высоту лезвия $L = (R + \delta / \operatorname{tg} \alpha)$, где R – высота боковой грани, δ – половина толщины, α – половина угла заточки. Задняя грань ножа – прямая. Восстановительная деформация материала происходит на участке EF .

Заметим, что вследствие релаксации напряжений в материале происходит диссипация энергии, запасенной как в изолированной пружине элемента Гука, так и в пружине элемента Кельвина-Фойгта (см. реологическую модель в [5]). При этом механические напряжения в элементе Гука и элементе Кельвина-Фойгта равны. В момент прекращения контакта ножа с материалом на участке EE' произойдет мгновенная восстановительная деформация элемента Гука

(изолированной пружины) (рис. 1) под действием внутреннего напряжения в материале:

$$\varepsilon_0 = -\frac{p_{бок}(L)}{E_0}, \quad (1)$$

где $p_{бок}(L)$ – нормальное контактное давление на боковую грань в точке E ; E_0 – мгновенный модуль упругости материала.

Напряжение в материале в крайней контактной точке $E(\delta, L)$ с учетом процесса релаксации напряжений соответствует нормальному контактному давлению в этой точке боковой грани. Подставим из [5] выражение для нормального контактного давления на боковую грань в формулу (1) и получим:

$$\varepsilon_0 = -\frac{\delta \cdot \xi}{E_0 \cdot l} \cdot \left(1 + \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot tg\alpha}{E_1^2 \cdot \delta} \cdot \exp(k \cdot R) \right), \quad (2)$$

где $\xi = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 + E_1}$; E_1 – запаздывающий модуль упругости материала;

$\mu = 1 - \exp\left(\frac{k \cdot \delta}{tg\alpha}\right)$; $k = -\frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot v}$; η – коэффициент динамической вязкости

материала; l – первоначальная толщина материала в направлении деформации при условии стесненного сжатия; v – скорость движения ножа в материале.

Обозначив $\chi = (\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot tg\alpha) / (E_1^2 \cdot \delta)$, представим выражение (2) в следующем виде:

$$\varepsilon_0 = -\frac{\delta \cdot \xi}{E_0 \cdot l} \cdot [1 + \chi \cdot \exp(k \cdot R)]. \quad (3)$$

Восстановительная деформация элемента Кельвина-Фойгта реологической модели на участке $E'F$ происходит с запаздыванием (рис. 1). Поскольку внешняя нагрузка на материал после прекращения контакта равна нулю, запишем дифференциальное уравнение состояния материала [4]:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} E_0 + \frac{E_0 E_1}{\eta} \varepsilon = 0, \quad (4)$$

где t – время, соответствующее моменту прекращения контакта ножа с материалом и начала процесса восстановительной деформации; ε – относительная деформация материала.

Сократим E_0 в (4) и получим дифференциальное уравнение

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1}{\eta} \varepsilon = 0. \quad (5)$$

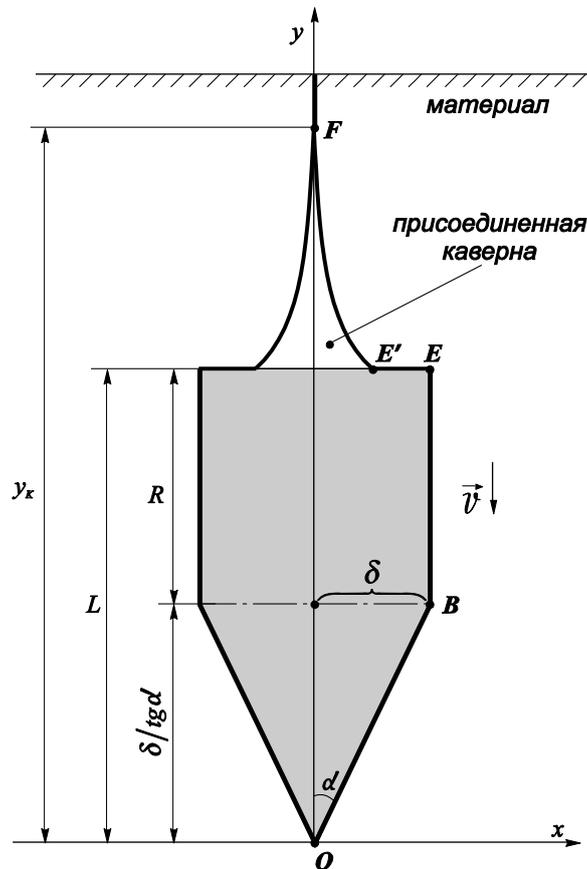


Рис. 1. Схема движения ножа в пищевом материале
 Fig. 1. Scheme of knife movement in food material

Дифференциальное уравнение (5) имеет решение:

$$\varepsilon = C \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{\eta} \cdot t\right), \quad (6)$$

где C – постоянная величина.

Зададим начальное условие в крайней контактной точке E :

$$t = 0; \varepsilon = \delta/l. \quad (7)$$

С учетом начального условия (7) получим из (6):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{\eta} \cdot t\right). \quad (8)$$

В подвижной системе координат (x, y) (рис. 1) относительная деформация является функцией координаты. С учетом мгновенной деформации восстановления элемента Гука уравнение для относительной восстановительной деформации материала после прекращения контакта имеет следующий вид:

$$\varepsilon_{\text{восст}} = \frac{\delta}{l} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{E_1 \cdot (y-L)}{\eta \cdot v}\right) - \frac{\xi}{E_0} \cdot \left[1 + \chi \cdot \exp\left(k \cdot \left(L - \frac{\delta}{\text{tg}\alpha}\right)\right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Получим выражение для безразмерной приведенной относительной деформации восстановления материала $\bar{\varepsilon}_{восст}$. Введем следующие безразмерные величины: $\bar{v} = \frac{v}{v_n} = \frac{v \cdot \eta}{h_m \cdot (E_0 + E_1)}$ – безразмерная скорость ножа; $\bar{L} = L/h_m$ – безразмерная высота ножа; $\bar{y} = y/h_m$ – безразмерная координата; $e_{01} = E_0/E_1$ – отношение мгновенного и запаздывающего модулей упругости материала; h_m – высота передней наклонной грани ножа.

Из (9)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{восст} &= \frac{\delta}{l} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{E_1 \cdot h_m (\bar{y} - L/h_m)}{\eta \cdot v}\right) - \frac{\xi}{E_0} \cdot \left[1 + \chi \cdot \exp\left(k \cdot h_m \cdot \left(\frac{L}{h_m} - 1\right)\right) \right] \right\} = \\ &= \frac{\delta}{l} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{\bar{y} - \bar{L}}{(1 + e_{01}) \cdot \bar{v}}\right) - \frac{1}{1 + e_{01}} \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right)\right) \cdot \exp\left(-\frac{\bar{L} - 1}{\bar{v}}\right) \right] \right\}^{(0)} \\ \bar{\varepsilon}_{восст} &= \frac{l}{\delta} \cdot \varepsilon_{восст} = \left\{ \exp\left(-\frac{\bar{y} - \bar{L}}{(1 + e_{01}) \cdot \bar{v}}\right) - \frac{1}{1 + e_{01}} \times \right. \\ &\times \left. \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right)\right) \cdot \exp\left(-\frac{\bar{L} - 1}{\bar{v}}\right) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Выражение (11) имеет физический смысл при $y \geq L$ и $\varepsilon_{восст} > 0$, поскольку координаты крайней точки E контакта равны (δ, L) . При $\bar{\varepsilon}_{восст} = 0$ в конечной точке восстановления материал, раздвинутый правыми гранями ножа, соприкасается с материалом, раздвинутым левыми гранями, после чего процесс восстановительной деформации прекращается. Образованные при резании свободные поверхности в процессе восстановительной деформации за обухом ножа сдвигаются и соприкасаются. Эти явления приводят к тому, что при движении ножа в материале за обухом образуется присоединенная каверна.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПРИСОЕДИНЕННОЙ КАВЕРНЫ

Определим объем каверны, присоединенной к обуху ножа с двухсторонней заточкой при его движении в вязкоупругом материале (рис. 1). При этом адгезионным притяжением соприкасающихся поверхностей разрезанного материала допустимо пренебречь, поскольку восстановительная деформация направлена на сокращение его поверхностной энергии. Условие соприкосновения разрезанного материала в крайней точке каверны $F(0, y_F)$ получим из (9):

$$\exp\left(-\frac{E_1}{\eta \cdot v} \cdot (y_F - L)\right) - \frac{\xi}{E_0} \cdot \left[1 + \chi \cdot \exp\left(k \cdot \left(L - \frac{\delta}{tg\alpha}\right)\right) \right] = 0. \quad (12)$$

Выполнив преобразования, из (12) имеем:

$$y_F = L + \frac{\eta \cdot v}{E_1} \cdot \ln\left(\frac{E_0}{\xi \cdot \tau}\right), \quad (13)$$

где $\tau = 1 + \chi \cdot \exp(k \cdot (L - \delta / \operatorname{tg} \alpha)) = 1 + \chi \cdot \exp(k \cdot R)$.

С учетом (13) объем присоединенной каверны определим следующим образом:

$$V_\kappa = 2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot \int_L^{y_F} \left\{ \exp\left(-\frac{E_1 \cdot (y - L)}{\eta \cdot v}\right) - \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} \right\} dy. \quad (14)$$

Используя формулу Ньютона-Лейбница, получим выражение для объема присоединенной каверны:

$$V_\kappa = 2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot \left\{ \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} \cdot (L - y_F) - \frac{\eta \cdot v}{E_1} \cdot \left[\exp\left(\frac{E_1 \cdot (L - y_F)}{\eta \cdot v}\right) - 1 \right] \right\}. \quad (15)$$

Подставим (13) в (15):

$$V_\kappa = 2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot \left\{ \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} \cdot \left(L - \frac{\eta \cdot v}{E_1} \cdot \ln\left(\frac{E_0}{\xi \cdot \tau}\right) \right) - \frac{\eta \cdot v}{E_1} \cdot \left[\exp\left(\frac{E_1 \cdot \left(L - \frac{\eta \cdot v}{E_1} \cdot \ln\left(\frac{E_0}{\xi \cdot \tau}\right) \right)}{\eta \cdot v}\right) - 1 \right] \right\}. \quad (16)$$

В результате преобразований получим выражение для объема присоединенной каверны:

$$V_\kappa = \frac{2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot \eta \cdot v}{E_1} \cdot \left\{ 1 - \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} \cdot \left[\ln\left(\frac{E_0}{\xi \cdot \tau}\right) + 1 \right] \right\}. \quad (17)$$

Выполним следующие преобразования:

$$\begin{aligned} k &= -\frac{E_0 + E_1}{\eta \cdot v} = -\frac{1}{\bar{v} \cdot h_m}; \quad \bar{v} = \frac{v \cdot \eta}{h_m \cdot (E_0 + E_1)}; \\ \chi &= \frac{\xi \cdot \eta \cdot v \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha}{E_1^2 \cdot \delta} = \frac{E_0 \cdot \bar{v} \cdot h_m \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha}{E_1 \cdot \delta} = e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right) \right); \\ \tau &= 1 + \chi \cdot \exp\left(-\frac{1}{\bar{v} \cdot h_m} \cdot (L - h_m)\right) = \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1)\right) \right]; \\ \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} &= \frac{1}{1 + e_{01}} \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1)\right) \right]; \\ \frac{E_0}{\xi \cdot \tau} &= (1 + e_{01}) \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1)\right) \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (18)$$

С учетом вышеприведенных преобразований (18) выразим объем присоединенной каверны (17) через безразмерные величины:

$$\begin{aligned} V_\kappa &= 2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot h_m \cdot \bar{v} \cdot (1 + e_{01}) \times \\ &\times \left\{ 1 - \frac{1}{1 + e_{01}} \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1)\right) \right] \right\} \times \quad (19) \end{aligned}$$

$$\times \left[\ln \left((1 + e_{01}) \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp \left(-\frac{1}{\bar{v}} \right) \right) \cdot \exp \left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1) \right) \right]^{-1} \right) + 1 \right] \right\}$$

С учетом $\frac{E_0 + E_1}{E_1} = (1 + e_{01})$ введем обозначения:

$$\varpi = \frac{\xi \cdot \tau}{E_0} = \frac{1}{1 + e_{01}} \cdot \left[1 + e_{01} \cdot \bar{v} \cdot \left(1 - \exp \left(-\frac{1}{\bar{v}} \right) \right) \cdot \exp \left(-\frac{1}{\bar{v}} \cdot (\bar{L} - 1) \right) \right]; \quad 20)$$

$$V_0 = 2 \cdot \delta \cdot l_k \cdot h_m. \quad 21)$$

С учетом (20) и (21) из (11), (13) и (19) окончательно получим следующие выражения для безразмерной приведенной относительной деформации восстановления материала, безразмерной координаты крайней точки F каверны и безразмерного приведенного объема присоединенной каверны:

$$\bar{\varepsilon}_{восст} = \frac{l}{\delta} \cdot \varepsilon_{восст} = \exp \left(-\frac{\bar{y} - \bar{L}}{(1 + e_{01}) \cdot \bar{v}} \right) - \varpi; \quad 22)$$

$$\bar{y}_F = \bar{L} - \bar{v} \cdot (1 + e_{01}) \cdot \ln(\varpi); \quad 23)$$

$$\bar{V}_k = V_k / V_0 = \bar{v} \cdot (1 + e_{01}) \cdot [1 - \varpi \cdot (1 - \ln \varpi)]. \quad 24)$$

Разработанные модели (22) - (24) позволяют варьировать безразмерной скоростью ножа, безразмерной длиной боковой грани, модулями упругости материала для исследования зависимостей безразмерной приведенной относительной деформации и безразмерного приведенного объема присоединенной каверны от указанных параметров.

Показаны зависимости безразмерной приведенной относительной деформации материала от безразмерной координаты: на рис. 2-3 при четырех различных значениях безразмерной скорости ножа, на рис. 4-5 при четырех различных значениях отношения модулей упругости материала. На рис. 6 изображены зависимости безразмерной приведенной относительной деформации материала от безразмерной координаты при четырех различных значениях безразмерной длины боковой грани ножа. На рис. 7 приведены зависимости безразмерной координаты крайней точки F каверны от безразмерной скорости ножа при четырех различных значениях отношения модулей упругости материала. На рис. 8 показаны зависимости безразмерного приведенного объема присоединенной каверны от безразмерной скорости ножа при четырех различных значениях отношения модулей упругости материала.

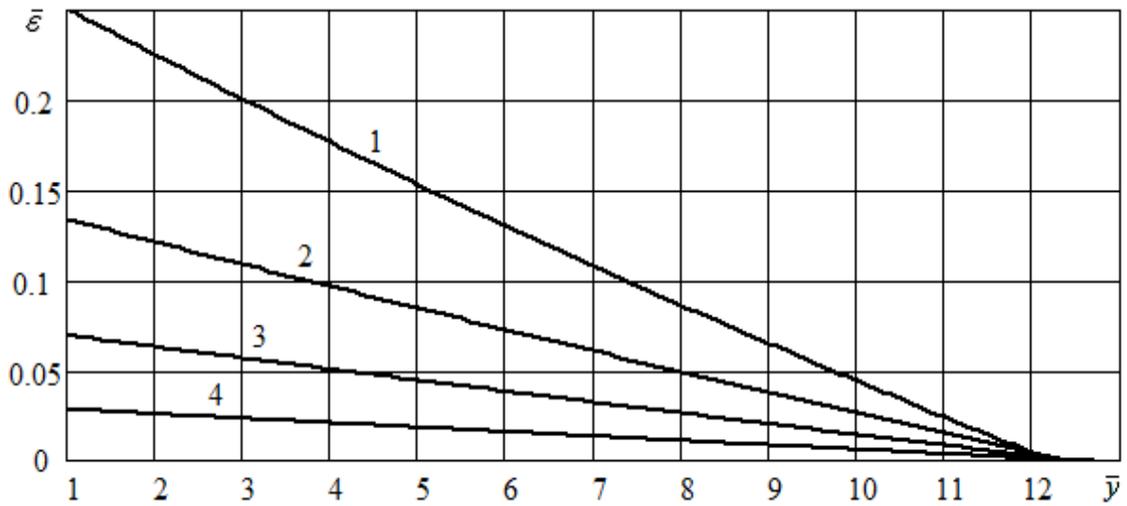


Рис. 2. Безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала при $e_{01} = 7$; $\bar{L} = 2$ и различных значениях безразмерной скорости:
 1 – $\bar{v} = 5$; 2 – $\bar{v} = 10$; 3 – $\bar{v} = 20$; 4 – $\bar{v} = 50$

Fig. 2. Dimensionless reduced relative deformation of the material recovery at $e_{01} = 7$; $\bar{L} = 2$ and different values of the dimensionless speed

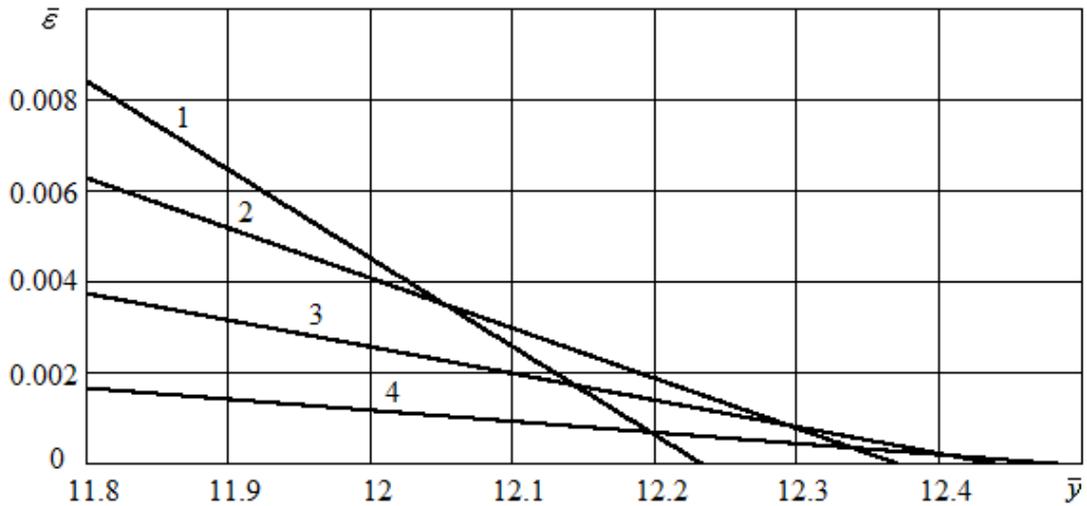


Рис. 3. Безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала при больших \bar{y} ($e_{01} = 7$; $\bar{L} = 2$) и различных значениях безразмерной скорости:

1 – $\bar{v} = 5$; 2 – $\bar{v} = 10$; 3 – $\bar{v} = 20$; 4 – $\bar{v} = 50$

Fig. 3. Dimensionless reduced relative deformation of the material recovery at large \bar{y} ($e_{01} = 7$; $\bar{L} = 2$) and different values of the dimensionless speed

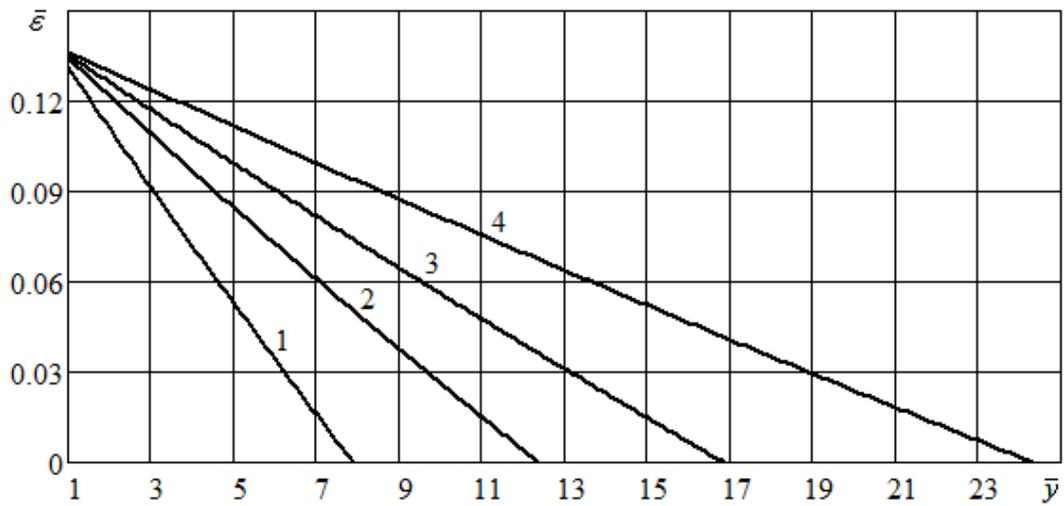


Рис. 4. Безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала при $\bar{\nu} = 10$; $\bar{L} = 2$ и различных значениях e_{01} :

1 – $e_{01} = 4$; 2 – $e_{01} = 7$; 3 – $e_{01} = 10$; 4 – $e_{01} = 15$

Fig. 4. Dimensionless reduced relative deformation of the material recovery at $\bar{\nu} = 10$; $\bar{L} = 2$ and different values of e_{01}

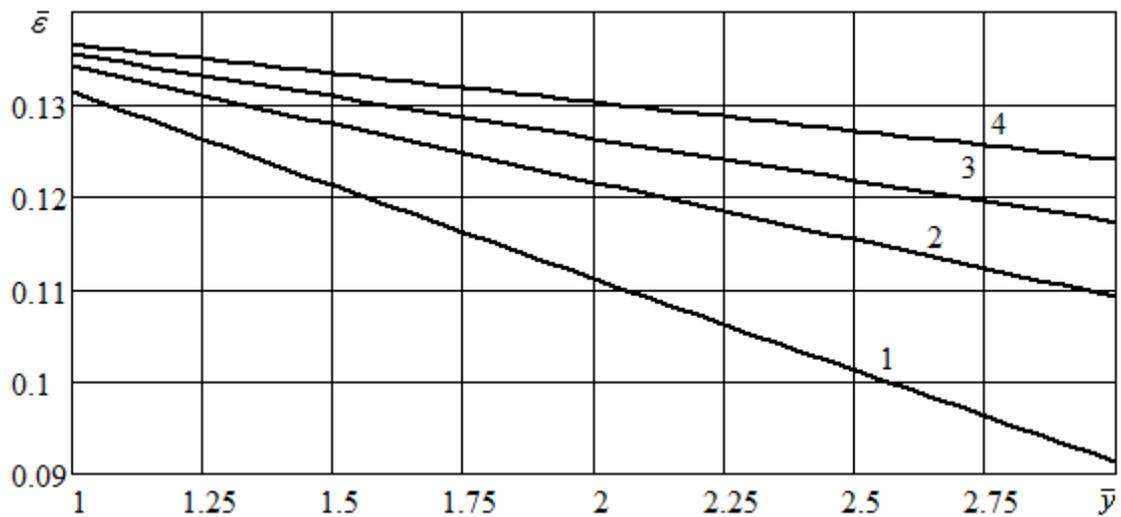


Рис. 5. Безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала при малых \bar{y} ($\bar{\nu} = 10$; $\bar{L} = 2$) и различных значениях e_{01} :

1 – $e_{01} = 4$; 2 – $e_{01} = 7$; 3 – $e_{01} = 10$; 4 – $e_{01} = 15$

Fig. 5. Dimensionless reduced relative deformation of the material recovery at low \bar{y} ($\bar{\nu} = 10$; $\bar{L} = 2$) and different values of e_{01}

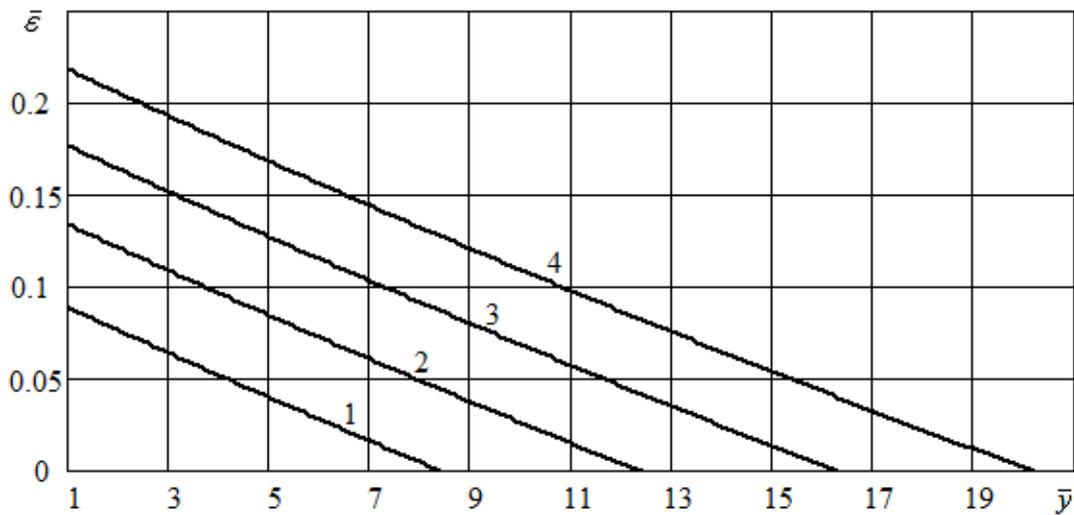


Рис. 6. Безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала при $\bar{\nu} = 10$; $e_{01} = 7$ и различных значениях \bar{L} :

1 – $\bar{L} = 1,5$; 2 – $\bar{L} = 2$; 3 – $\bar{L} = 2,5$; 4 – $\bar{L} = 3$

Fig. 6. Dimensionless reduced relative deformation of the material recovery at $\bar{\nu} = 10$; $\bar{L} = 7$ and different values of \bar{L}

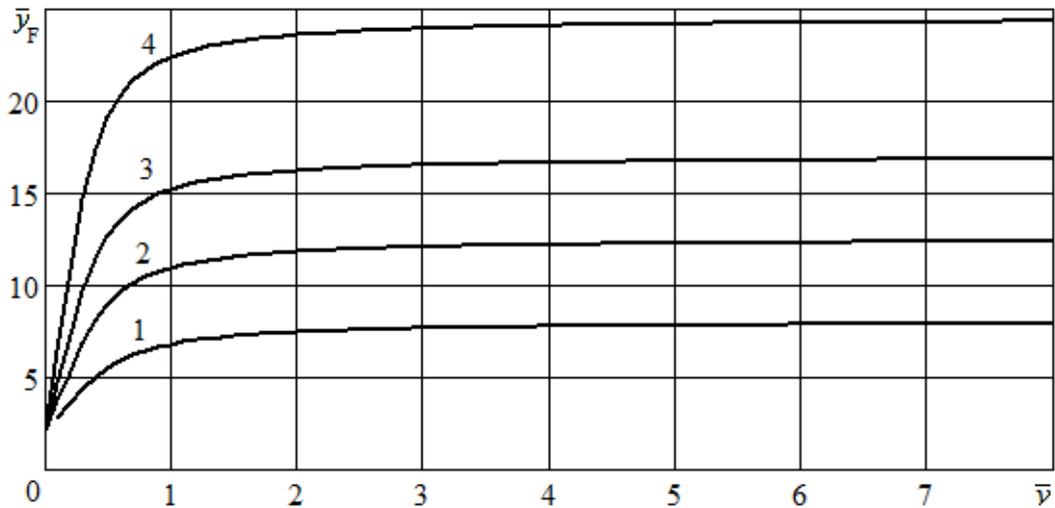


Рис. 7. Безразмерная координата крайней точки F каверны при $\bar{L} = 2$ и различных значениях e_{01} :

1 – $e_{01} = 4$; 2 – $e_{01} = 7$; 3 – $e_{01} = 10$; 4 – $e_{01} = 15$

Fig. 7. Dimensionless coordinate of the cavity extreme point F at $\bar{L} = 2$ and different values of e_{01}

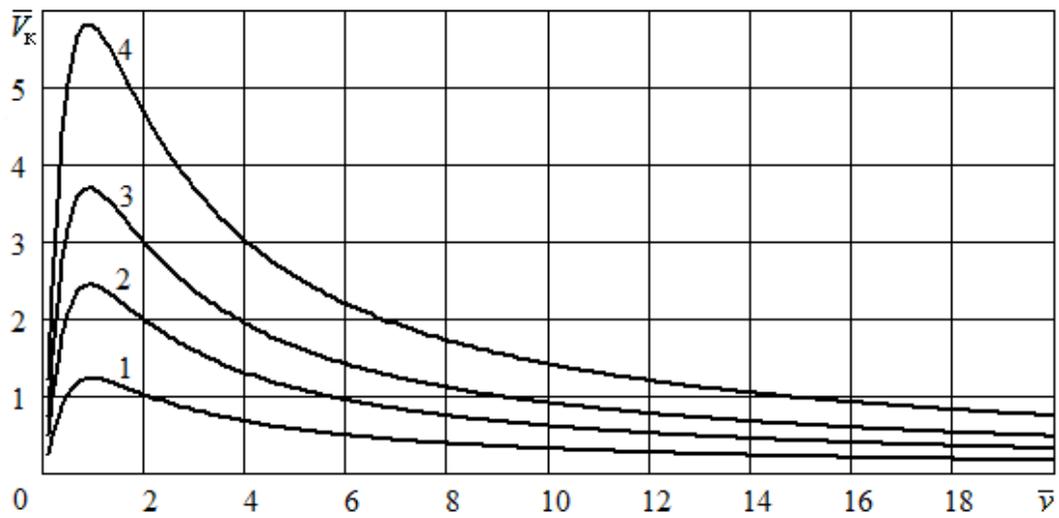


Рис. 8. Безразмерный приведенный объем присоединенной каверны при $\bar{L} = 2$ и различных значениях e_{01} :

1 – $e_{01} = 4$; 2 – $e_{01} = 7$; 3 – $e_{01} = 10$; 4 – $e_{01} = 15$

Fig. 8. Dimensionless reduced volume of the attached cavity at $\bar{L} = 2$ and different values of e_{01}

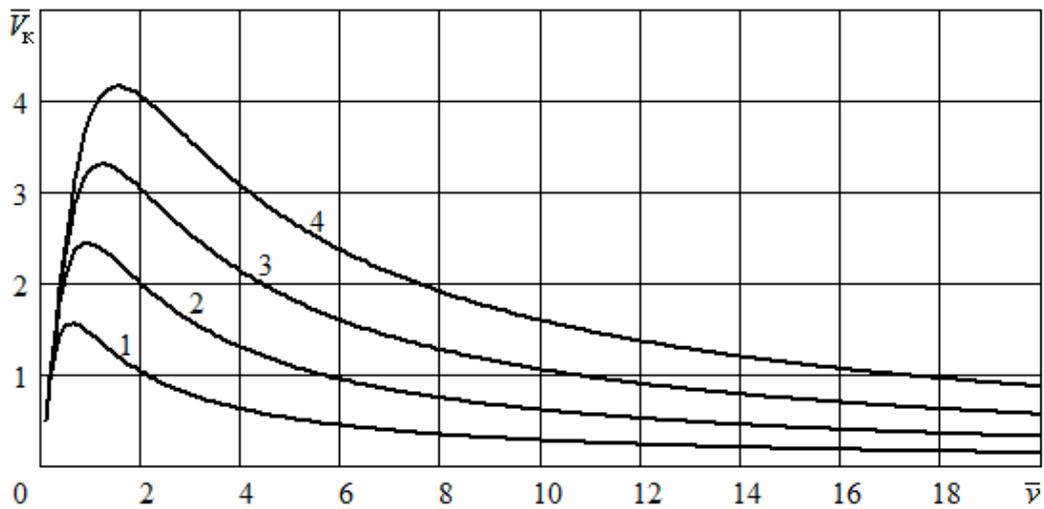


Рис. 9. Безразмерный приведенный объем присоединенной каверны при $e_{01} = 7$ и различных значениях \bar{L} :

1 – $\bar{L} = 1,5$; 2 – $\bar{L} = 2$; 3 – $\bar{L} = 2,5$; 4 – $\bar{L} = 3$

Fig. 9. Dimensionless reduced volume of the attached cavity at $e_{01} = 7$ and different values of \bar{L}

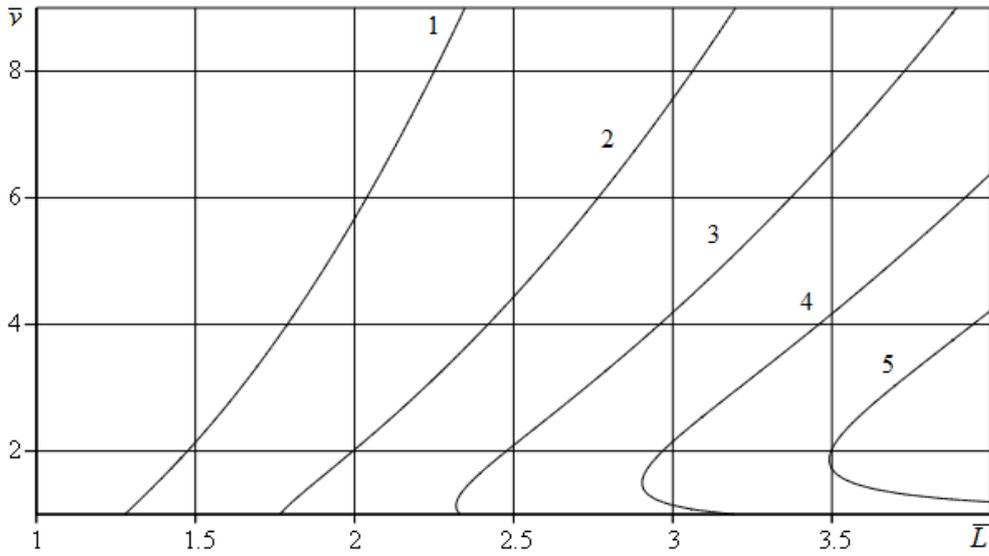


Рис. 10. Безразмерный приведенный объем присоединенной каверны \bar{V}_k при малых скоростях и $e_{01} = 7$

Fig. 10. Dimensionless reduced volume of the attached cavity \bar{V}_k at low speeds and $e_{01} = 7$

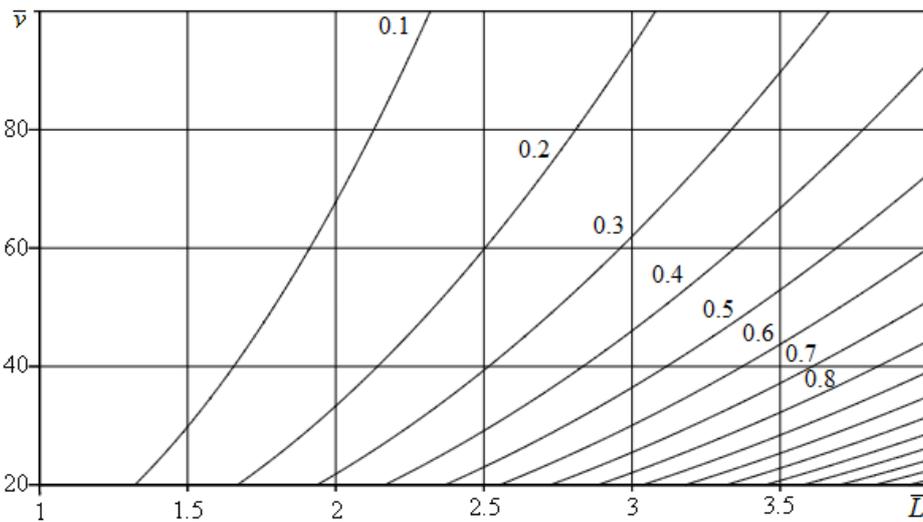


Рис. 11. Безразмерный приведенный объем присоединенной каверны \bar{V}_k при средних скоростях и $e_{01} = 7$

Fig. 11. Dimensionless reduced volume of the attached cavity \bar{V}_k at medium speeds and $e_{01} = 7$

На рис. 9 изображены зависимости безразмерного приведенного объема присоединенной каверны от безразмерной скорости ножа при четырех различных значениях безразмерной его высоты. На рис. 10-11 в виде контурных графиков

приведены зависимости безразмерного приведенного объема присоединенной каверны от безразмерной скорости ножа и безразмерной его высоты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно модели (9) присоединенная каверна формируется вследствие мгновенного восстановления элемента Гука, а также запаздывающего восстановления элемента Кельвина-Фойгта реологической модели материала [4]. В соответствии с моделью (17) объем присоединенной каверны прямо пропорционально зависит от толщины ножа и длины его прямой режущей кромки. При этом на восстановительную деформацию и образование каверны оказывают влияние процесс деформации материала передней наклонной гранью ножа, а также процесс релаксации напряжений при контакте материала с боковой гранью. Это учитывается в моделях (11), (13), (19), (22)-(24), поскольку выражение для нормального контактного давления в крайней контактной точке E является краевым условием при выводе указанных моделей. Для выявления зависимостей деформации материала, координаты крайней точки каверны и объема присоединенной каверны от скорости ножа, реологических свойств материала и высоты ножа выполнено математическое моделирование безразмерных величин в соответствии с моделями (22) – (24).

Результаты моделирования, представленные на рис. 2, показывают, что с увеличением безразмерной скорости ножа существенно возрастает безразмерная мгновенная восстановительная деформация материала. Одновременно, как показывает рис. 3, с увеличением безразмерной скорости соприкосновение свободных поверхностей материала, образованных при резании, происходит позже, т. е. запаздывающая деформация восстановления протекает дольше. Это объясняется следующим. С ростом скорости ножа сокращается время, в течение которого происходит релаксация напряжений при контакте материала с боковой гранью, вследствие чего диссипация энергии, запасенной в деформированном вязкоупругом материале, осуществляется меньшем количестве. Следует отметить, что зависимости безразмерной восстановительной деформации от безразмерной координаты и безразмерной скорости на рис. 2–3 имеют нелинейный характер.

При безразмерной координате $\bar{y} = 1$ и безразмерных скоростях ножа 5, 10, 20, 50 безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала составляет 0.251, 0.134, 0.069, 0.028 соответственно. При безразмерных скоростях ножа 5, 10, 20, 50 соприкосновение свободных поверхностей разрезанного материала ($\bar{\epsilon}_{восст}=0$) происходит при безразмерных координатах 12.232, 12.369, 12.436, 12.474 соответственно.

Рисунки 4 и 5 демонстрируют, что с увеличением отношения модулей упругости, т. е. с ослаблением жесткости материала (см. табл. 1 в [4]), незначительно снижается мгновенная восстановительная деформация и существенно дольше происходит запаздывающая восстановительная деформация материала.

При отношениях модулей упругости материала 4, 7, 10, 15 безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала составляет 0.131, 0.134, 0.135, 0.137 соответственно. При отношениях модулей упругости 4, 7, 10, 15 соприкосновение свободных поверхностей разрезанного материала (

$\bar{\varepsilon}_{восст}=0$) происходит при безразмерных координатах 7.891, 12.369, 16.852, 24.328 соответственно.

Результаты моделирования, представленные на рис. 6, показывают, что с увеличением безразмерной высоты ножа существенно сокращается мгновенная восстановительная и значительно дольше происходит запаздывающая восстановительная деформация материала. Эти явления объясняются тем, что с увеличением высоты ножа значительно длительнее протекает релаксация напряжений, а в деформированном вязкоупругом материале происходит диссипация энергии, оставшаяся часть которой после прекращения контакта в точке E высвобождается при восстановительной деформации, что с энергетической точки зрения соответствует существенному ослаблению жесткости материала.

При безразмерной координате $\bar{y} = 1$ и безразмерных высотах ножа 1.5, 2, 2.5, 3 безразмерная приведенная относительная деформация восстановления материала составляет 0.089, 0.134, 0.177, 0.219 соответственно. При длинах боковой грани 1.5, 2, 2.5, 3 соприкосновение свободных поверхностей разрезанного материала ($\bar{\varepsilon}_{восст}=0$) происходит при безразмерных координатах 8.426, 12.369, 16.288, 20.181 соответственно.

Рисунок 7 иллюстрирует, что с увеличением безразмерной скорости ножа безразмерная координата крайней точки F присоединенной каверны монотонно возрастает и достигает предела. Крайняя точка каверны с ростом скорости удаляется от обуха ножа при малых скоростях, а при высоких скоростях достигает предельного положения. По мере снижения жесткости материала крайняя точка каверны удаляется от ножа. При отношениях модулей упругости 4, 7, 10, 15 предел безразмерной координаты крайней точки каверны составляет 8, 12.5, 17, 24.5 соответственно.

Рисунки 8 и 9 демонстрируют, что с увеличением безразмерной скорости ножа безразмерный приведенный объем присоединенной каверны возрастает при малых скоростях, достигает максимума, после чего при больших скоростях ножа асимптотически снижается. Рисунок 8 иллюстрирует, что при увеличении отношения модулей упругости, т. е. ослаблении жесткости материала, безразмерный приведенный объем присоединенной каверны существенно возрастает. Рисунок 9 показывает, что при увеличении безразмерной высоты ножа безразмерный приведенный объем присоединенной каверны также существенно возрастает. Зависимость безразмерного приведенного объема каверны от безразмерной скорости ножа является немонотонной функцией с явно выраженным максимумом.

При отношениях модулей упругости материала 4, 7, 10, 15 и безразмерных скоростях ножа 0.96, 0.93, 0.91, 0.90 достигаются максимумы безразмерного приведенного объема присоединенной каверны 1.233, 2.451, 3.707, 5.833 соответственно. При безразмерных высотах ножа 1.5, 2, 2.5, 3 и безразмерных его скоростях 0.64, 0.93, 1.24, 1.56 достигаются максимумы безразмерного приведенного объема присоединенной каверны 1.571, 2.451, 3.312, 4.165 соответственно.

Контурные графики, приведенные на рис. 10, 11, также иллюстрируют, что при малых безразмерных скоростях ножа происходит немонотонное увеличение

безразмерного приведенного объема присоединенной каверны и достижение им максимума, а при больших безразмерных скоростях указанный объем асимптотически сокращается. Вместе с тем увеличение безразмерной высоты ножа приводит к увеличению объема присоединенной каверны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеизложенные результаты моделирования позволяют заключить, что объем присоединенной каверны непосредственно связан с энергетическими потерями, обусловленными диссипацией энергии в вязкоупругом материале. Сокращение объема присоединенной каверны соответствует снижению количества вязкоупругой энергии, безвозвратно рассеянной в материале вследствие релаксации напряжений. Таким образом, чем меньше объем каверны, тем больше аккумулируется в материале вязкоупругой энергии, которая может быть направлена на совершение полезной работы.

С ростом скорости ножа при малых скоростях объем присоединенной каверны увеличивается с одновременным удалением крайней точки F от задней грани ножа – каверна удлиняется. Далее при средних скоростях крайняя точка F каверны занимает предельное положение относительно задней грани, а сокращение объема каверны при высоких скоростях происходит за счет асимптотического снижения ее поперечного размера – каверна сжимается, сохраняя свою длину.

Интересно отметить, что форма линий на рис. 8, 9 в целом соответствует форме графиков, описывающих зависимость деформационной составляющей коэффициента трения при скольжении штампа по вязкоупругому материалу [6, 7]. В целях использования аккумулированной в материале вязкоупругой энергии и снижения деформационной составляющей коэффициента трения целесообразно снабжать нож задними наклонными гранями. Эта мера сокращает объем присоединенной каверны и снижает результирующую деформационную силу трения, препятствующую движению ножа в пищевом материале.

В дальнейших работах авторов будет показано, что при наличии у ножа задней наклонной грани увеличение скорости приводит к сокращению объема присоединенной каверны и одновременному снижению результирующей деформационной силы трения, препятствующей движению ножа в материале.

Вместе с тем результаты моделирования позволяют заключить, что при любой положительной безразмерной скорости ножа существует ненулевой безразмерный приведенный объем присоединенной каверны. Разрезая материал лезвием, невозможно полностью избежать диссипации вязкоупругой энергии, обусловленной процессом релаксации напряжений. При этом невозможен полный контакт материала со штампом, форма которого соответствует рассматриваемому профилю ножа, следовательно, процесс раздвижения тканей лезвием является необратимым с термодинамической точки зрения.

Дальнейшим направлением исследований является математическое моделирование сил нормального контактного давления на задние наклонные грани ножа, а также определение деформационных сил трения, действующих на ножи с различными профилями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агеев, О. В. Совершенствование технологического оборудования для первичной обработки рыбы: опыт, проблематика, системный подход: моногр. / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 261 с.
2. Фатыхов, Ю. А. Математическая модель процесса резания рыбного филе дисковым ножом / Ю. А. Фатыхов, О. В. Агеев // Известия КГТУ. – 2007. – № 12. – С. 42-51.
3. Наумов, В. А. Моделирование процесса погружения дискового ножа в пищевой материал при резании / В. А. Наумов, О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов // Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. – № 2(32). – Шифр: ЭЛ № ФС77–55245. – Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.
4. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы / О.В. Агеев [и др.] // Известия КГТУ. – 2017. – № 47. – С. 80-96.
5. Агеев, О. В. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на боковые грани ножа при резании пищевых материалов / О. В. Агеев, В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов // Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. – № 4(34). – Шифр: ЭЛ № ФС77–55245.
6. Трение эластомеров. Моделирование и эксперимент / И. Г. Горячева [и др.] – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2017. – 207 р.
7. Popov V. L. Contact Mechanics and Friction. Physical Principles and Applications / V. L. Popov. – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2017. – 391 p.

REFERENCES

1. Ageev O. V. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya pervichnoi obrabotki ryby: opyt, problematika, sistemnyi podkhod* [Perfection of process facility for primary fish processing: experience, problems, system approach]. Kaliningrad, Kaliningrad St. Tech. University Publ., 2015, 261 p.
2. Fatykhov Yu. A. *Matematicheskaya model' protsessa rezaniya rybnogo file diskovym nozhom* [Mathematical model of the process of cutting fish fillets with a disk knife]. *Izvestiya KGTU*, 2007, no. 12, pp. 42–51.
3. Naumov V. A. *Modelirovanie protsessa pogruzheniya diskovogo nozha v pishchevoi material pri rezanii* [Simulation of a disk knife immersion process into a food material during fish cutting]. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 2(32). Available at: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.

4. Ageev O. V. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na naklonnye grani nozha pri rezanii ryby [Mathematical simulation of normal contact pressure forces on inclined knife edges in fish processing]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 47, pp. 80–96.

5. Ageev O. V. Matematicheskoe modelirovanie sil normal'nogo kontaktnogo davleniya na bokovye grani nozha pri rezanii pishhevyykh materialov [Mathematical simulation of normal contact pressure forces on side knife edges during cutting of food materials]. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 4(34). Available at: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.

6. Gorjacheva I. G. *Trenie jelastomerov. Modelirovanie i jeksperiment*. [Friction of elastomers. Simulation and experiment]. Izhevsk, Izhevsk Institute of Computer Researches, 2017, 207 p.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

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

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

УДК 664.8.047

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ
ПРОДУКТОВ ПЕРЕД СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКОЙ ПРИ
АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

А. В. Антипов, Ц. Б. Дугаров, Г. П. Власенко, В. Д. Данзанов

THE TEMPERATURE OF FREEZING FOOD PRODUCT PRIOR TO FREEZE
DRYING AT ATMOSPHERIC PRESSURE

A. V. Antipov, Ts. B. Dugarov, G. P. Vlasenko, V. D. Danzanov

Сублимационная сушка влагосодержащих объектов представляет собой хорошо известный метод получения высококачественных продуктов. Качество сублимированных продуктов определяется:

- сохранением нативных свойств;
- обеспечением возможности быстрого восстановления исходных свойств (инстант-продукты быстрого приготовления);
- возможностью придания новых (отсутствующих у исходного материала) свойств: стойкость в хранении к температурным условиям, стойкость к радиационному облучению;
- созданием материалов с заданными физико-механическими свойствами: порошков с заданной дисперсностью и т.п.

Замораживание влаги в рассматриваемом процессе - обязательный этап, позволяющий создать необходимые условия для дальнейшей сублимации. Главным фактором, определяющим качество получаемых при помощи сублимации материалов, является температура замораживания.

сохранение исходных свойств, создание материалов с заданными физико-механическими свойствами, главный фактор, температура замораживания

Freeze drying moisture-containing objects is a well-known method of obtaining high-quality products. Quality sublimated products is determined by:

- preservation of the native properties;
- provide for rapid restoration of original properties (instant foods);
- the possibility of giving new (absent in the source material) properties: stability in storage to the temperature conditions, the resistance to radiation;
- creating materials with desired physical and mechanical properties: powders with specified dispersion, etc.

The freezing of moisture in the process - a required step to create necessary conditions for the further sublimation. The main factor determining the quality obtained by sublimation of the material, is the temperature of freezing.

maintaining the original properties, creating materials Saganami physical and mechanical properties, the main factor is the freeze temperature

ВВЕДЕНИЕ

Все натуральные пищевые продукты и большинство продуктов их переработки содержат в растворенном состоянии много различных веществ, эвтектические точки которых лежат в широком диапазоне температур (от минус 1 °С до минус 90 °С) [1].

Для подготовки продуктов к сублимационной сушке процесс замораживания осуществляют таким образом, чтобы обеспечить оптимальное соотношение влаги, удаленной в виде твердой и жидкой фазы при сублимационной сушке. Это соотношение является технологическим показателем, который определяет качественные характеристики сублимированного продукта.

Исследователями сублимационной сушки пищевых продуктов [2-4] показано, что для получения продукта высокого качества необходимо удалить из него не менее 75...80% замороженной влаги. Для этого перед процессом сублимационной сушки продукты замораживают до температуры, обеспечивающей вымораживание заданного количества влаги. В процессе сублимационной сушки энергоподвод осуществляют таким образом, чтобы температура замороженного продукта не превысила температуры, обеспечивающей вымораживание заданного количества влаги. На этапе досушивания удаляют невымороженную влагу при такой температуре, которая не влияет на качество сублимированного продукта. Мы поставили перед собой задачу определить оптимальную температуру замораживания перед сублимационной сушкой. Вполне очевидным выглядит тезис о том, что замораживать надо до такой температуры, которая обеспечивает количество вымороженной влаги 75...80% от влаги, содержащейся в продукте.

Однако исследователи процесса замораживания пищевых продуктов обратили внимание на то, что существует гистерезис значений количества вымороженной влаги [5, 6]. Так, при одинаковой температуре в пищевых продуктах может быть разное количество вымороженной влаги. Оно зависит от вектора изменения температуры. При ее повышении значение, при котором выморожено, например 80% влаги, выше, чем следовало ожидать. То есть можно сделать вывод, что существуют условия, при которых количество вымороженной влаги при относительно высоких температурах больше расчетного. Для сублимационной сушки гистерезис температур приобретает наибольший интерес, когда температура сублимации становится управляемой. Возможность повышения температуры сублимации позволяет значительно уменьшить расход энергии на обезвоживание замороженных материалов. В [6] была предложена следующая технология: при замораживании температуру продукта понижали до температуры, обеспечивающей вымораживание 75-80% влаги. Затем температуру продукта повышали, оставляя при этом постоянное количество вымороженной влаги. В [6] температуру замораживания t_3 для соков определяли как $t_3 = t_{\min} + t_{\text{пл}}$, где t_{\min} - температура сублимации, $t_{\text{пл}}$ - температура полного переохлаждения.

Принимая допущение, что $t_{\text{пл}} = 10$ °С, рассчитывали нижнюю границу температуры замораживания. Верхней границей служила минимальная температура плавления (табл. 1).

Рассмотрим, насколько актуально значение температуры сублимации для вакуумной сублимационной сушки.

Таблица 1
Table 1

Продукт	Температура замораживания t_3 °C	
	Нижняя граница	Верхняя граница
Пюре		
черносмородиновое	-33	-23
яблочное	-38	-28
абрикосовое	-39	-29
вишневое	- 53	-43
сливовое	-55	-45
Соки натуральные		
яблочный	-45	-35
виноградный	-50	-40

Наши исследования показали, что для реальных условий вакуумной сублимационной сушки необходим учет краевой зоны материала, непосредственно примыкающей к вертикальным стенкам противня [7]. В углах противня замороженный слой продукта получает тепловую энергию от дна и боковой стенки. Таким образом, краевая зона приобретает дополнительную энергию от стенок противня. Зона сублимации прорывается по бокам противня к дну. Когда в краевой зоне она достигает дна противня, в придонной области материала возникает второй фронт сублимации, который начинает движение навстречу первому. В этот момент исчезает градиент температуры в замороженной зоне, так как весь тепловой поток от дна противня расходуется на фазовый переход в зоне сублимации. Скорость обезвоживания очень мала, поскольку кондуктивный поток теплоты к фронту фазового перехода передается через сухой слой, теплопроводность которого почти в 100 раз ниже, чем замороженного. «Краевой эффект» - явление нежелательное, потому что он значительно увеличивает длительность сушки (до 80% общего времени). Влияние краевого эффекта еще более возрастает в условиях кондуктивно-радиационного энергоподвода, так как стенки противня в этом случае нагреваются уже с двух сторон [4].

Следовательно, продукт, обезвоживаемый в вакууме, практически все время сушки находится под воздействием максимально допустимых положительных температур. По слою обезвоженного продукта наблюдается значительный градиент влажности. Термограмма процесса вакуумной сублимационной сушки представлена на рис. 1, места установки термодатчиков (датчики 1, 2, 3) показаны на рис. 2.

Таким образом, поддерживать температуру сублимации в условиях вакуумной сублимационной сушки следует первые 10...20 мин. Далее возникает необходимость сохранения заданной температуры высушенного слоя продукта снизу и сверху слоя, а температура сублимации становится нерегулируемым параметром. Поэтому исследователи вакуумной сублимационной сушки не заостряли внимание на точном значении температуры сублимации.

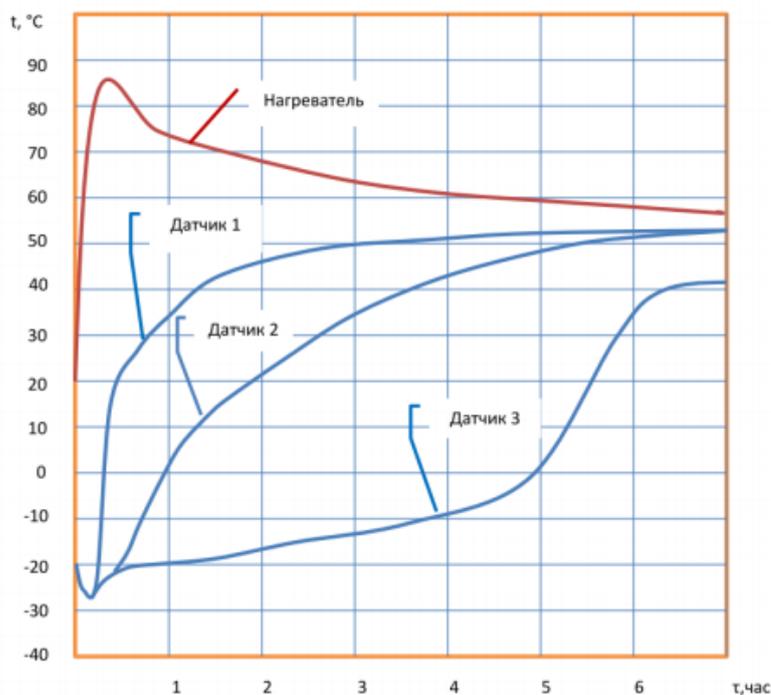


Рис. 1. Термограмма процесса вакуумной сублимационной сушки
Fig. 1. Thermogram of the process of vacuum freeze-drying

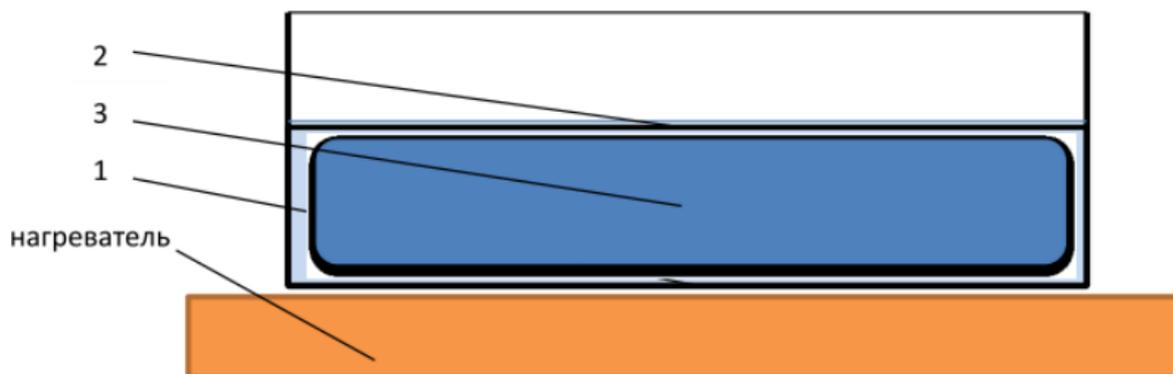


Рис. 2. Нагреватель с датчиком температуры:
1, 2, 3 – места установки датчиков температуры в слое продукта
Fig. 2. Heater with temperature sensor
1, 2, 3 – the location of the temperature sensors in the layer of the product

Кинетика сушки замороженного продукта при атмосферном давлении другая [3, 4, 8, 9]. В условиях атмосферной сублимационной сушки значение температуры сублимации становится первоочередным фактором.

При конвективной сушке воздухом в продукте практически нет перепада температуры. Парциальное давление водяного пара надо льдом в продукте выше, чем над незамороженной влагой. Поэтому в процессе сублимации при атмосферном давлении, пока не будет удалена вымороженная влага (лед), сушка

ее не происходит. Термограмма и кривая влажности сушки при атмосферном давлении представлены на рис. 3.

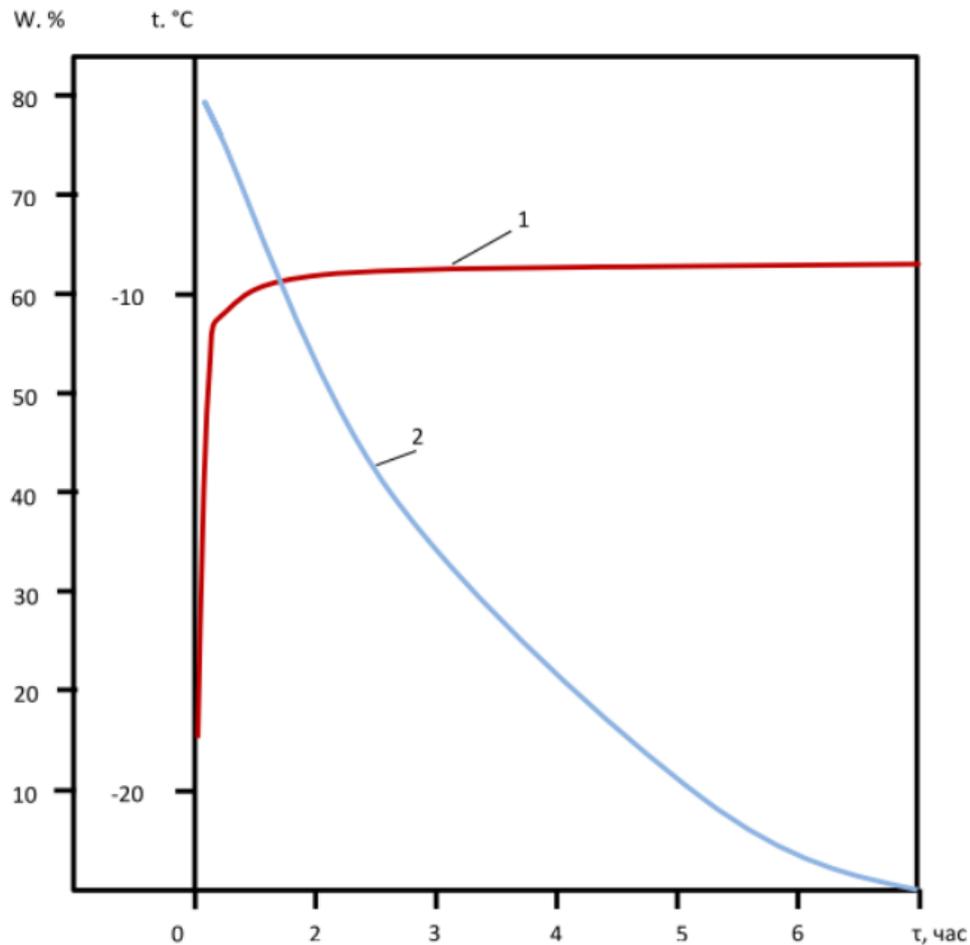


Рис. 3. Термограмма и кривые влажности сублимационной сушки при атмосферном давлении:

1 – температура объекта, °C; 2 – количество вымороженной влаги, %.

Fig. 3. Thermogram and humidity curves of freeze-drying at atmospheric pressure:

1- the temperature of the object, °C; 2 – the amount of frozen moisture, %

Таким образом, нами была поставлена задача определить точное значение температуры сублимации для широкого ряда продуктов.

Прямая зависимость показателей качества пищевых продуктов от количества вымороженной влаги обусловила наш выбор пищевых продуктов в качестве модели для исследования.

Для изучения фазовых переходов влаги нами был использован электрический метод, основанный на значительном различии электрического сопротивления льда и воды. Измерительную ячейку помещали в камеру, температура в которой изменялась от плюс 20 до минус 60 °C со скоростью 1-50 °C/мин.

В качестве модельных растворов применяли водные растворы солей поваренной соли, хлористого магния, калия и кальция различных концентраций. Исследование фазовых переходов влаги проводили на пищевых продуктах: мясных, молочных и растительного происхождения, в биологических материалах [10, 11]. Наличие фазовых переходов влаги определяли по резкому изменению электрического сопротивления исследуемой системы.

В биологических материалах, являющихся многокомпонентными растворами, имеется эвтектическая температурная зона, в пределах которой происходит постепенное вымораживание влаги. Границы этой зоны определяются по характерному изменению зависимости электрического сопротивления материала от температуры $R=f(t)$, что показано на рис. 4. Температуру замораживания $t_{н.эвт}$ можно рассматривать как максимальную температуру затвердения. Достижение такой температуры является необходимым и достаточным фактором при замораживании продукта перед сублимацией. Она может служить нижним пределом при определении температурной зоны замораживания.

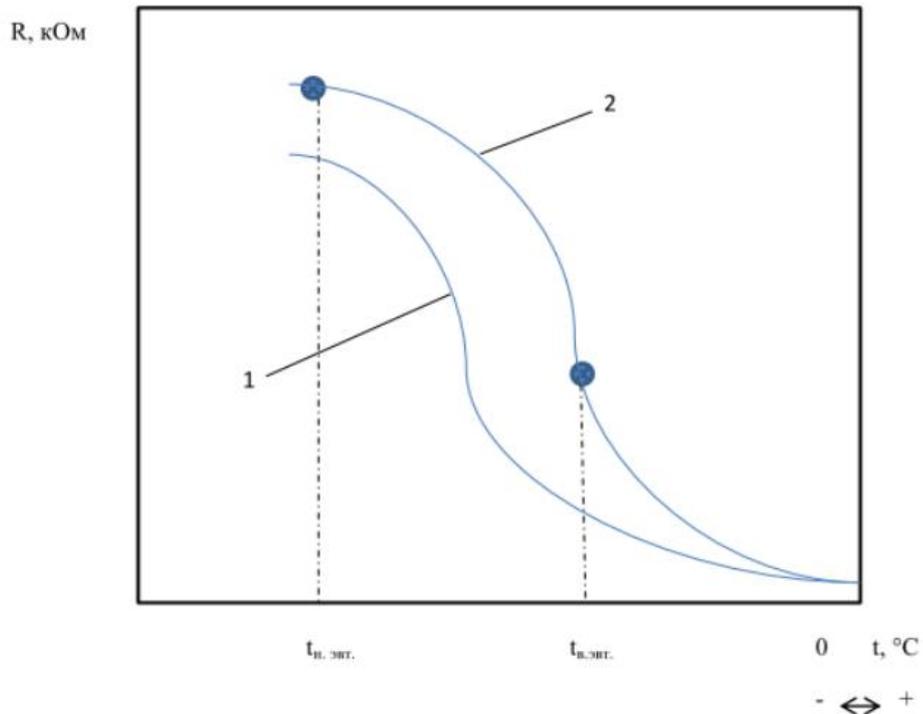


Рис. 4. Зависимость изменения электрического сопротивления материала от температуры

Fig. 4. The dependence of the electrical resistance material from the temperature

При выборе температуры замораживания $t_{в.эвт}$ перед сублимацией мы основывались на том факте, что минимальная температура плавления, значения которой найдены опытным путем, отличается от максимальной температуры затвердения и значительно выше ее. Это обусловлено тем, что в процессе

замораживания промежуточные эвтектические смеси переохлаждаются, задерживая дальнейшую кристаллизацию, поэтому систему необходимо охладить до более низкой температуры, чем при замораживании без переохлаждения.

Величина предельной температуры переохлаждения определяется свойствами переохлаждаемого материала и тел, соприкасающихся с ним. Так, в опытах, проведенных Г. Б. Чижевским [12], дистиллированная вода в широкой литровой колбе переохлаждалась до минус 4 °С, а предельная температура переохлаждения геля агара в колбе была минус 6,6 °С.

Таким образом, можно сказать, что замораживание необходимо производить до $t_{н.эвт}$, а сушку - в зоне от $t_{н.эвт}$ до $t_{в.эвт}$. В этом случае она осуществляется только методом сублимации. Если температуре дадут подняться выше $t_{в.эвт}$, то при сушке происходит частичное выпаривание влаги промежуточных эвтектических смесей. И так как эти смеси содержат все ценные вещества продукта (витамины, компоненты аромата, красители и т. д.), очень важно ограничить промежуточное плавление.

За температуру нижней границы зоны сублимации принимается минимальная температура плавления $t_{н.эвт}$, устанавливаемая опытным путем. Также опытным путем мы определяли и температуру верхней границы зоны сублимации $t_{в.эвт}$ из условия, что это максимальная температура, при которой не отмечаются изменения качества после сублимационной сушки.

ВЫВОДЫ

Таким образом, нами были определены температура замораживания перед сублимационной сушкой и температура сублимации в процессе сублимационной сушки для ряда продуктов (табл. 2).

Исследования производились путем сублимационной сушки в вакууме и при атмосферном давлении [13-15]. Необходимо отметить, что температуру сублимации при вакуумном обезвоживании практически невозможно было поддерживать с точностью более 5 °С. Поэтому точные значения температуры относятся в основном к сублимационной сушке при атмосферном давлении. В настоящее время положение о том, что значение разности температур $t_{н.эвт}$ и $t_{в.эвт}$ обусловлено эффектом переохлаждения, подвергается сомнению, и назрела необходимость исследования явления гистерезиса температуры замораживания продуктов перед сублимационной сушкой при атмосферном давлении. В этом направлении и проводится работа на кафедре «Тепломассообменные процессы и установки» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» и в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления.

Таблица 2.

Table 2.

Продукт	Температура замораживания, °С	Температура сублимации, °С
Картофельное пюре	-20	-10
Творог диетический	-20	-11
Молоко и кефир нежирные	-14	-11
Хлорелла	-20	-12
Мясной фарш из нежирного мяса, мясо разрезанное вдоль волокон, мясо разрезанное вдоль волокон	-18	-10
Пюре черной смородины	-23	-15
Перец красный	-25	-18
Чеснок	-25	-18
Лук репчатый	-25	-18
Яблоки	-25	-18
Клубника	-25	-18
Морковь	-25	-18
Коллаген (1-2% раствор)	-30	-20
Гидролизат хлореллы	-30	-22
Гидролизаты мясные и рыбные	-30	-25

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сублимационная сушка пищевых продуктов растительного происхождения / В. Г. Поповский [и др.]; под ред. В. Г. Поповского. - Москва: Пищевая промышленность, 1975. - 335 с.

2. Гуйго, Э. И. Сублимационная сушка в пищевой промышленности / Э. И. Гуйго, Н. К. Журавская, Э. И. Каухчешвили. – 2-е изд., доп. и перераб. - Москва: Пищевая промышленность, 1972. - 434 с.

3. Методика расчета процесса атмосферной сублимационной сушки продуктов / А. В. Антипов [и др.] // Холодильная техника. - №11. - 1989. - 35с.

4. Сублимационная сушка тонкодисперсных порошков при атмосферном давлении А. В. Антипов [и др.] // Холодильная техника. - №9. - 1989. - 38с.

5. Камовников, Б. П. Вакуум-сублимационная сушка пищевых продуктов (Основы теории, расчет и оптимизация) / Б. П. Камовников, Л. С. Малков, В. А. Воскобойников. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 288 с.
6. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов / Б. П. Камовников [и др.]. – Москва: Колос, 1994. - 255 с.
7. Антипов, А. В. Совершенствование процесса сублимационной сушки мясных и молочных продуктов на основе разработки методов и технических средств выравнивания полей тепло- и массопереноса: автореф.... канд. техн. наук / Антипов Алексей Васильевич; Московский технологический ин-т мясной и молочной промышленности. – Москва, 1983. - 23 с.
8. Дугаров Ц. Б. Исследование и разработка процесса обезвоживания замороженных биоматериалов при атмосферном давлении: автореф. дис. канд. техн. наук / Дугаров Цыден Батожаргалович. - Москва, 1990. - 16 с.
9. Атмосферная сублимационная сушка как метод консервирования продуктов / А. В. Антипов [и др.] // Проблемы динамики и прочности современных машин : междунар. науч.-практ. конф. : материалы. - Улан-Удэ, 2016.- 93с.
10. Баранчиков, А. Е. Под ред. Кауля А.Р. Криохимический метод синтеза неорганических материалов / А. Е. Баранчиков, А. Н. Баранов / Под ред. А. Р. Кауля. – Москва: МГУ. – 2011. - 46 с.
11. Короткий, И.А. Исследование температур замораживания свиной крови / И. А. Короткий, Е. В. Короткая, Д. Е. Федоров // Техника и технология пищевых производств. – 2013. - №3.
12. Чижов, Г. Б. Вопросы теории замораживания пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – Москва: Пищепромиздат, 1956. - 140 с.
13. Антипов, А. В. Сублимационная сушка как метод консервирования продуктов / А. В. Антипов, Ц. Б. Дугаров // Мясные технологии . – 2011. - №12 (108). - С. 48-51.
14. Битуева, Э. Б. Резервы увеличения производства мясопродуктов / Э. Б. Битуева, Ц. Б. Дугаров, А. В. Антипов // Мясные технологии. – 2016.- №3(159). - С. 18-23.
15. Антипов, А. В. Промышленные аккумуляторы холода /А. В. Антипов, Ц. Б. Дугаров // Молочная промышленность. - 2016. - № 7. - С. 14-16.

REFERENCES

1. Popovskiy V. G., Bantysh L. A., Ivasyuk N. T. i dr. *Sublimatsionnaya sushka pishchevykh produktov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Sublimatsionnaya drying food vegetable proiskhozhdeniya]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1975, 335 p.
2. Guygo E. I., Zhuravskaya N. K., Kaukhcheshvili E. I. *Sublimatsionnaya sushka v pishchevoy promyshlennosti* [Freeze-drying in the food industry]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1972, 434 p.
3. Antipov A. V., Ur'yash O. B., Babitskaya N. A., Dugarov Ts. B. Metodika rascheta protsessa atmosfernoy sublimatsionnoy sushki produktov [Method of calculation process of atmospheric freeze drying]. *Kholodil'naya tekhnika*, 1989, no. 11, 35 p.

4. Antipov A. V., Dugarov Ts. B., Babitskaya N. A., Ur'yash O. B. Sublimatsionnaya sushka tonkodispersnykh poroshkov pri atmosfernom davlenii [Freeze drying of fine powders at atmospheric pressure]. *Kholodil'naya tekhnika*, 1989, no. 9, 38 p.

5. Kamovnikov B. P., Malkov L. S., Voskoboynikov V. A. *Vakuum – sublimatsionnaya sushka pishchevykh produktov (osnovy teorii, raschet i optimizatsiya)* [Sublimatsionnaya vacuum drying foods (foundations of the theory, calculation and optimization)]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 288 p.

6. Kamovnikov B. P., Antipov A. V., Semenov G. V., Babaev I. A. *Atmosfernaya sublimatsionnaya sushka pishchevykh produktov* [Atmospheric freeze drying food]. Moscow, Kolos, 1994, 255 p.

7. Antipov A. V. *Sovershenstvovanie protsessa sublimatsionnoy sushki myasnykh i molochnykh produktov na osnove razrabotki metodov i tekhnicheskikh sredstv vyravnivaniya poley teplo- i massoperenosa. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the process of freeze-drying of meat and dairy products based on the development of methods and means of leveling the fields of heat and mass transfer. Abstract. of dis. cand. tehn. sciences]. Moscow, Moskovskiy tekhnologicheskii institut myasnoy i molochnoy promyshlennosti, 1983, 23 p.

8. Dugarov Ts. B. *Issledovanie i razrabotka protsessa obezvozhivaniya zamorozhennykh biomaterialov pri atmosfernom davlenii. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Research and development process of dehydration of frozen biomaterials at atmospheric pressure. Abstract of dis. cand. tehn. sciences]. Moscow, 1990, 16 p.

9. Antipov A. V., Dugarov Ts. B., Uladaev A. V., Khiltukhinov O. Zh. *Atmosfernaya sublimatsionnaya sushka kak metod konservirovaniya produktov* [Atmospheric freeze drying as a method of food preservation]. *Problemy dinamiki i prochnosti sovremennykh mashin. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of dynamics and durability of modern machines. Proceedings of the international scientific-practical conference]. Ulan-Ude, 2016, 93 p.

10. Baranchikov A. E., Baranov A. N. *Kriokhimicheskiy metod sinteza neorganicheskikh materialov* [Cryochemical method for the synthesis of inorganic materials]. MGU, khimicheskii fakul'tet, 2011, 46 p.

11. Korotkiy I. A., Korotkaya E. V., Fedorov D. E. *Issledovanie temperatur zamorazhivaniya svinoy krovi* [Research freezing temperatures pig's blood]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2013, no. 3.

12. Chizhov G. B. *Voprosy teorii zamorazhivaniya pishchevykh produktov* [Problems in the theory of freezing foods]. Moscow, Pishchepromizdat, 1956, p. 140.

13. Antipov A. V., Dugarov Ts. B., Babitskaya N. A., Ur'yash O. B. Sublimatsionnaya sushka tonkodispersnykh poroshkov pri atmosfernom davlenii [Freeze drying of fine powders at atmospheric pressure]. *Kholodil'naya tekhnika*, 1989, no. 9, 38 p.

14. Bitueva E. B., Dugarov Ts. B., Antipov A. V. *Rezervy uvelicheniya proizvodstva myasoproduktov* [Provisions increasing the production of meat products]. *Myasnye tekhnologii*, 2016, no. 3 (159), pp. 18-23.

15. Antipov A. V., Dugarov Ts. B. *Promyshlennye akkumulyatory kholoda* [Industrial batteries are cold]. *Molochnaya promyshlennost'*, 2016, no. 7, pp. 14-16.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антипов Алексей Васильевич – ООО «НED-Центр», г. Москва; кандидат технических наук, технический директор; E-mail: a225306@yandex.ru

Antipov Aleksei Vasilevich – ООО "NED-Ltd", Moscow; PhD, Technical Director; E-mail: a225306@yandex.ru

Дугаров Цыден Батожаргалович – Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия»; E-mail: siden@mail.ru

Dugarov Tsyden Batozhargalovich – East-Siberian state University of technologies and management, Ulan-Ude; PhD; associate professor of the department «Technological machines and equipment. Agroengineering»; E-mail: siden@mail.ru

Власенко Галина Павловна – Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепломассообменные процессы и установки»; E-mail: vlasenkogp@yandex.ru

Vlasenko Galina Pavlovna – National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow; PhD; associate professor of the department «Heat and mass transfer processes and installations»; E-mail: vlasenkogp@yandex.ru

Данзанов Виктор Дашиевич – Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ; кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия»; E-mail: vdanzanov@mail.ru

Danzanov Viktor Dashievich – East-Siberian state University of technologies and management, Ulan-Ude; PhD, associate professor, Head of the Department «Technological Machines and Equipment. Agroengineering»; E-mail: vdanzanov@mail.ru

УДК 621.565.9.045

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТРУБЧАТО-ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА

А. И. Ейдеус, С. В. Кошелев, Ю. Н. Сластихин

SPECIAL ASPECTS OF CALCULATING EFFICIENCY
IN FIN-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS

A. I. Eideus, S. V. Koshelev, Yu. N. Slastikhin

При проектировании и анализе характеристик трубчато-пластинчатых теплообменных аппаратов (ТОА) надо знать коэффициенты эффективности ребра E_p и наружной поверхности E_n , которые используются также для определения коэффициента наружной теплоотдачи a_n по экспериментально полученным данным о коэффициенте теплопередачи аппарата. Точность определения этих данных влияет на технико-экономические показатели установок, в составе которых работают подобные аппараты. Инженерная методика расчета коэффициента E_p для ТОА с круглыми, прямоугольными и сплошными ребрами подготовлена Т. Шмидтом ещё в 1949 г. Многие годы она считалась общепринятой, лишь в 1996 и 2003 гг. появились ее корректировки. Во всех вариантах расчета коэффициента E_p необходимо правильно учитывать соотношение между шагом труб S_1 поперёк потока воздуха и S_2 – вдоль. При подготовке статьи получены значения коэффициента E_p и условной высоты ребра по шести версиям используемых методик для ТОА с плоскими ребрами при шахматном расположении труб. Рассмотрено шесть вариантов исходных данных с разным соотношением между шагом S_1 и S_2 . Диаметр труб, толщина ребер, их теплопроводность и коэффициент наружной теплоотдачи a_n считались постоянными. Расчеты показывают, что все версии дают примерно одинаковые значения коэффициента E_p , когда отношение S_1/S_2 близко к 1. На наиболее широкий диапазон отношений S_1/S_2 распространяется методика Т. Шмидта с двумя ее корректировками. По данным ряда исследователей, применение тисненых или просечных (жалюзийных) ребер повышает интенсивность теплоотдачи, но несколько снижает коэффициент E_p . Точное его определение оказывается весьма сложным. На практике коэффициент эффективности таких ребер чаще всего находят так же, как и для плоских ребер.

круглые трубы, пластинчатые ребра, коэффициент эффективности, методики расчета, примеры, расположение труб, тисненые и жалюзийные ребра

When designing and analyzing the performance of fin-and-tube heat exchangers, one must know the fin efficiency η_f and the overall surface efficiency η_o . Both efficiencies are also used to determine the air side convection coefficient h_a from the experimentally obtained data on the overall heat transfer coefficient U . The accuracy of determining these factors affects technical and economic indicators of installations in

which such heat exchangers operate. The engineering fin efficiency calculation method for fin-and-tube heat exchangers with round, rectangular and continuous fins was prepared by T. Schmidt in 1949. For many years it was considered conventional. Its adjustments appeared only in 1996 and 2003. In all variants of fin efficiency η_f calculation method, it is necessary to correctly take into account the relationship between the transverse P_t and longitudinal P_l tube pitch. During the preparation of the article, the η_f and conditional fin heights were obtained from 6 versions of the used methods for heat exchangers with plate fins in the staggered arrangement of tubes. Six variants of the initial data with different ratios between the pitches P_t and P_l were considered. The tube diameter, the fin thickness, their thermal conductivity and the air side heat transfer coefficient h_a were considered constant. Calculations show that all versions of the techniques give approximately equal values of η_f when the ratio P_t / P_l is close to 1. The T. Schmidt method with two of its corrections covers the widest range of P_t / P_l ratios. According to some researchers, the use of slit or louvered fins increases heat transfer intensity, but somewhat reduces the fin efficiency η_f . Its exact definition turns out to be rather complicated. Practically the fin and surface efficiency of heat exchangers with such fins is most often found in the same way as for plate fins.

round tubes, plate fins, efficiency coefficient, calculation methods, examples, tube arrangement, slit and louvered fins

ВВЕДЕНИЕ

Трубчато-пластинчатые аппараты широко применяются в холодильной технике, в том числе при производстве и хранении пищевых продуктов. Наибольшее распространение получили теплообменные аппараты (ТОА), выполненные из пучков круглых труб с насаженными на них плоскими пластинами постоянной толщины. В компактных ТОА применяются пластины с воротничками, что улучшает тепловой контакт между трубой и пластиной. Улучшению удельных показателей ТОА способствует уменьшение диаметра труб, а также толщины и шага ребер [1]. Повышение интенсивности теплоотдачи на стороне воздуха обеспечивает разрушение пограничного слоя. С этой целью делают разрывы между пластинами каждого ряда труб, применяют пластины с тисненными полосками (slit fin), с просечками в виде жалюзи (lower fin) или с завихрителями потока (vortex generator). Нередко используются волнистые ребра с синусоидальными или зигзагообразными волнами [2].

Изменение формы ребер затрудняет определение как площади теплопередающей поверхности F_n , так и коэффициента эффективности ребра E_p , а соответственно, и коэффициента эффективности наружной поверхности E_n . Трудности возрастают в случае выпадения влаги из воздуха, не говоря уже об образовании слоя инея на поверхности труб и ребер. Вопрос определения коэффициента эффективности даже плоских ребер в условиях сухого теплообмена также не является однозначным. В целях повышения точности теплового расчета трубчато-пластинчатых ТОА выполнен поиск и сравнительный анализ методик определения коэффициента E_p с учетом формы ребер и расстояния между трубами.

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ И МЕТОДИКИ

Коэффициент E_p отражает характер изменения температуры ребра по его высоте. Он меньше единицы, так как средняя температура ребра всегда ближе к

температуре охлаждаемой или нагреваемой среды (обычно воздуха), чем температура основания ребра. Коэффициент E_n определяется как:

$$E_n = \chi E_p + (1 - \chi \cdot E_p) \cdot F_T / F_n, \quad (1)$$

где χ – коэффициент теплового контакта между ребрами и трубой; F_T и F_n – площади наружной поверхности труб и оребренного аппарата.

Для определения коэффициента E_p используется формула, полученная аналитически для прямых ребер, расположенных на плоской поверхности или вдоль трубы. Ее записывают в виде:

$$E_p = th(h_p \sqrt{B}) / (h_p \sqrt{B}) = \tanh(m r_n \phi) / (m r_n \phi), \quad (2)$$

где h_p – высота ребра; $B = 2a_e / (\lambda_p \delta_p)$; $m = \sqrt{B}$, r_n – радиус наружной поверхности трубы или воротника; ϕ – параметр, зависящий от исполнения ребристой поверхности; a_n – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности; λ_p – коэффициент теплопроводности ребра; δ_p – толщина ребра; $th = \tanh$ – тангенс гиперболический.

Применительно к прямоугольным, шестиугольным и сплошным ребрам постоянной толщины на основе исследований Т. Шмидта [3] в отечественной литературе рекомендуется первая часть формулы (2) с подстановкой в нее условной высоты ребра [4]:

$$h_y = r_n (\rho - 1) \cdot (1 + 0,805 \cdot \lg \rho). \quad (3)$$

Безразмерный параметр ρ зависит от расположения труб в пучке, а также соотношения между их шагом поперек потока воздуха S_1 и вдоль потока воздуха S_2 . Предварительно определяется наибольшее $S_{T\bar{6}}$ и наименьшее S_{Tm} расстояния между трубами. При коридорном расположении труб $S_{T\bar{6}}$ совпадает либо с S_1 , либо с S_2 , а параметр ρ вычисляется по формуле

$$\rho = 1,28(S_{Tm}/d_n) \cdot [(S_{T\bar{6}}/S_{Tm}) - 0,2]^{0,5}, \quad (4)$$

где d_n – наружный диаметр труб.

Параметр ρ для шахматного расположения труб:

$$\rho = 1,27(S_{Tm}/d_n) \cdot [(S_{T\bar{6}}/S_{Tm}) - 0,3]^{0,5}. \quad (5)$$

Судя по рисункам, приведённым в [4; 5], $S_{T\bar{6}} = S_1$, а наименьшее расстояние определяется по формуле

$$S_{Tm} = [(S_1/2)^2 + S_2^2]^{0,5} = 2H. \quad (6)$$

Согласно рисункам из [6; 7] по последней формуле вычисляется значение $2H$, которое сравнивается с шагом S_1 . Больше из них соответствует $S_{T\bar{6}}$, а меньшее – S_{Tm} . Отмеченное несовпадение обусловлено тем, что в упомянутых

источниках не указаны дополнительные условия, которые ввёл Т. Шмидт [3] при анализе плоских ребер. Применительно к шахматному пучку труб пластинчатые ребра рассматриваются как шестиугольные (гексагональные) с использованием эквивалентного радиуса R_3 . Отношение R_3/r_n [8] удобно находить по выражению

$$R_3/r_n = 1,27\psi(\beta - 0,3)^{0,5}, \quad (7)$$

где $\psi = A/r_n$; $\beta = H/A$; $H = 0,5[(0,5 \cdot S_1)^2 + S_2^2]^{0,5}$.

При этом $A = S_2$, если $S_2 < S_1/2$; в противном случае $A = S_1/2$. Дополнительно указано, что формула (7) подходит, когда $\beta < 1$, т.е. $H < A$, а значение A принимается в зависимости от соотношения между S_1 и S_2 . Безразмерный параметр ϕ для подстановки в правую часть формулы (2):

$$\phi = (R_3/r_n - 1) \cdot [1 + 0,35 \cdot \ln(R_3/r_n)]. \quad (8)$$

Нетрудно заметить, что произведение $r_n \phi$ равно условной высоте ребра h_p . В зарубежных источниках со ссылкой на Т. Шмидта [9; 10], но без упоминания ограничений отношение радиусов R_3/r_n для шахматного пучка часто представляют в виде

$$R_3/r_n = 1,27(X_m/r_n) \cdot [(X_L/X_m) - 0,3]^{0,5}, \quad (9)$$

где $X_m = S_1/2$; $X_L = H$.

В [11] предложено находить эквивалентный радиус R_3 , исходя из равенства периметров окружности и шестиугольника P_h :

$$R_3/R_n = P_h/(2 \cdot \pi \cdot r_n). \quad (10)$$

Для вычисления длины сторон шестиугольника составлена система из четырех уравнений, в которых используются параметры A и H , определяемые согласно пояснениям к формуле (7). Решать систему уравнений приходится методом итераций, что затрудняет использование методики.

В статье [12] предложено вводить дополнительный множитель в формулу (2) и записывать ее в виде

$$E_p = [\tanh(m \cdot r_n \phi)/(m \cdot r_n \phi)] \cdot \cos(0,1 \cdot m \cdot r_n \cdot \phi). \quad (11)$$

Авторы [13] показали, что для плоских ребер при использовании формулы (11) лучше подходит модифицированный параметр ϕ_m , вычисляемый по формуле:

$$\phi_m = \left(\frac{R_3}{r_n} - 1\right) \cdot \left[1 + \left[0,3 + \left(\frac{m(R_3 - r_n)}{2,5}\right)^{(0,125 \cdot \frac{R_3}{r_n})} \cdot \left(0,26 \left(\frac{R_3}{r_n}\right)^{0,3} - 0,3\right)\right] \cdot \ln\left(\frac{R_3}{r_n}\right)\right]. \quad (12)$$

В [14-16] отмечается, что для определения коэффициента E_p при разных отношениях R_3/r_n хорошо подходит методика [3] с корректировками [12] и [13].

Тем самым предлагается использовать формулу (11) с подстановкой в неё параметра ϕ_m , определяемого по формуле (12).

ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ

Ввиду наличия ряда подходов к определению коэффициента эффективности плоского ребра при шахматном расположении труб найдены его значения для шести сочетаний исходных данных. Во всех сочетаниях $r_n = 0,0037$ м, толщина алюминиевого ребра $\delta_p = 0,00015$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_p = 169$ Вт/(м²·К). Принят средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_n = 60$ Вт/(м²·К). С учетом указанных значений получен множитель $m = \sqrt{B} = 60,82$ м. Варьируемые значения шага труб поперёк потока S_1 и по ходу движения воздуха S_2 приводятся в табл. 1. Там же указаны значения ряда промежуточных величин, зависящих от S_1 и S_2 .

Таблица 1. Сочетания исходных данных и промежуточных величин

Table 1. Combinations of input data and intermediate values

№ п/п	Показатели							
	S_1	S_2	H	A	$S_{m\phi}$	S_{mm}	ψ	β
1	0,0203	0,0125	0,00805	0,01015	0,02030	0,01610	2,74324	0,79320
2	0,0120	0,0125	0,00693	0,00600	0,01387	0,01200	1,62162	1,15545
3	0,0360	0,0125	0,01096	0,01250	0,03600	0,02191	3,37838	0,87658
4	0,0203	0,0360	0,01357	0,01800	0,02713	0,02030	4,86486	0,75364
5	0,0100	0,0125	0,00673	0,00500	0,01346	0,01000	1,35135	1,34629
6	0,3600	0,0125	0,09022	0,01250	0,36000	0,18043	3,37838	7,21734

По каждой версии используемых методик в качестве основных результатов получены и приведены в табл. 2 значения коэффициента E_p и условной высоты ребра h_y или совпадающего с ней произведения $r_n\phi$. Для компактности в табл. 2 версии методик обозначены буквами, а варианты исходных данных – цифрами.

Таблица 2. Расчетные значения E_p и h_y или $r_n\phi$

Table 2. Calculated values of η_f and h_y or $r_n\phi$

Версия	Численные значения по вариантам					
	1	2	3	4	5	6
Коэффициент E_p						
A [3]	0,9397279	0,978438	0,849655	0,727302	0,985535	0,226323
B [7]	0,9142709	0,978447	0,700573	0,652699	0,985540	0,047742
C [9]	0,9397279	0,978438	0,826834	0,704654	0,985535	0,074484
D [11]	0,9235613	0,974638	0,828286	0,679351	0,982150	0,129592
E [12; 13]	0,9409882	0,979019	0,849914	0,722114	0,985921	0,166761
F [4]	0,9142709	0,984065	0,700573	0,867411	0,993175	0,047742
Условная высота ребра $h_y = r_n\phi$, м						
A	0,007029	0,004103	0,011808	0,017534	0,003346	0,070329
B	0,008524	0,004102	0,018820	0,021221	0,003345	0,333494
C	0,007029	0,004103	0,012888	0,018621	0,003346	0,213759
D	0,008000	0,004460	0,012820	0,019866	0,003724	0,12286
E	0,006893	0,004013	0,011683	0,017571	0,003274	0,086309
F	0,008524	0,003515	0,018820	0,010948	0,002288	0,333494

В табл. 3 приводятся номера формул, по которым определяются используемые в конкретных версиях методик параметры. Второй параметр в скобках приводится в случаях, когда значение его выбирается по указанным выше условиям.

Таблица 3. Версии методик с номерами используемых формул
Table 3. Versions of the methods with the numbers of the used formulas

Версия	Номера формул для расчета параметров						
	E_p	R_3/r_n	ϕ	A	h_y	ρ	$S_{T\sigma}$
A	2	7	8	$S_2(S_1/2)$	-	-	-
B	2	-	-	-	3	5	$S_1(2H)$
C	2	9	8	-	-	-	$X_L = H$
D	2	10	8	$S_2(S_1/2)$	-	-	-
E	11	7	12	$S_2(S_1/2)$	-	-	-
F	2	-	-	-	3	5	S_1

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение приведённых в табл. 2 значений коэффициента E_p указывает на существенное их несовпадение лишь в 6-м варианте. При этом отношение максимального и минимального значений E_p составляет 4,74. В вариантах 1; 2; 5 оно находится в пределах 1,01...1,029, что свидетельствует о возможности расчёта коэффициента E_p в этих условиях по любой из рассматриваемых методик. В вариантах 3 и 4 упомянутое отношение составляет 1,213 и 1,329. Оказалось, что формула (2) сглаживает несовпадение промежуточных величин, поэтому стоит обратить внимание на значения условий высоты ребра h_y . Относительное расхождение между ними находится в пределах от 1,453 в варианте 1 до 4,472 в варианте 6. Характерно, что по методикам B, C, F условная высота h_p нередко превышает половину шага S_1 . Это означает, что круглые ребра с такой высотой будут частично перекрывать друг друга в пучках с $h_p > S_1/2$. По условиям 6-го варианта правдоподобная высота ребер получается лишь по методикам A, D и E. В варианте 4 из-за большого шага $S_2 = 0,036$ м даже по методике D высота $h_y = 0,019$ м превышает $0,5 \cdot S_1 = 0,0115$ м.

Авторы статьи [12] установили, что методика [3] допускает погрешность более 5 % когда $R_3/r_n > 3$ и предложили формулу (11). По данным статьи [14], эта формула снижает погрешность аппроксимации при малых значениях R_3/r_n . Когда значения R_3/r_n достаточно высоки, рекомендуется совместное использование формул (11) и (12). В статье [15] отмечается, что в таком случае погрешность определения E_p не превышает 2%, если $R_3/r_n \leq 6$, а произведение $m \cdot (R_3 - r_n) \leq 2,5$. Данных по критическому анализу методики D обнаружить не удалось. Из табл. 2 следует, что полученные по ней значения E_p немного меньше, а значения h_y больше, чем по методикам A и E. Рассматриваемым в табл. 2 шести вариантам исходных данных соответствуют следующие отношения R_3/r_n и произведения $\xi = m \cdot (R_3 - r_n)$:

Вариант	1	2	3	4	5	6
R_3/r_n	2,4467	1,9048	3,2580	4,1613	1,7555	11,2845
$m \cdot (R_3 - r_n)$	0,3362	0,21027	0,5247	0,7346	0,1755	2,3898

Как видим, лишь в варианте 6 отношение $R_3/\tau_n > 6$, а произведение $\xi < 2,5$ даже в этом варианте. Заметим, что ограничиваемая в методике [3] величина $\beta = H/A$ для варианта 6 оказывается чрезмерно высокой. Наиболее вероятными для него можно считать найденные по методике Е значения $E_p = 0,167$ и $h_y = 0,0863$ м, хотя погрешность аппроксимации, по-видимому, превысит 2 %.

По результатам двумерного компьютерного моделирования, приведенным в статье [13], тисненные и просечные (жалюзийные) ребра искажают температурное поле. За счет этого коэффициент E_p уменьшается на величину до 5 % относительно E_p для плоских ребер при сопоставимых исходных данных. Из-за сложности определения коэффициента E_p для поверхностей с тисненными и просечными ребрами на практике обычно используют результаты расчета по методикам А, Д или Е [9; 17]. На поверхности ребренных воздухоохладителей часто происходит выпадение влаги. Для учета его в отечественной литературе рекомендуется умножать коэффициент теплоотдачи α_n на коэффициент влаговываждения, который представляет собой отношение количеств полной Q_n и явной Q_n теплоты, отведенной от воздуха. Зарубежные, а в последние годы и отечественные специалисты используют иные, но более сложные подходы к расчету ТОА с образованием конденсата [18; 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ показывает, что для инженерного расчета коэффициента эффективности плоского ребра лучше других подходит методика Шмидта [3] с корректировками, предложенными в статьях [12] и [13]. Использование опубликованных в отечественной литературе и во многих зарубежных изданиях формул для определения коэффициента E_p со ссылкой на Т. Шмидта, но без учета ограничений может привести к неверным результатам. Вопросы влияния влаги и изменения формы ребер на интенсивность теплоотдачи и падение давления воздуха нуждаются в дальнейшем исследовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин / А. А. Гоголин [и др.]. – Москва, 1982. – 224 с.
2. Hu, R., Wang, C. C. A Review of Fin-and-Tube heat exchangers in air conditioning applications. Int. J. Air-Conditioning and Refrigeration. Vol. 15. № 3 (2007), pp. 85-100.
3. Schmidt, T. E., 1949, Heat Transfer Calculations for Extended Surfaces. Refrigerating Engineering, 57, pp. 351- 357.
4. Гоголин, А. А. Кондиционирование воздуха в мясной промышленности / А. А. Гоголин. – Москва: Пищевая пром-ть, 1966. – 239 с.
5. Захаров, Ю. В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины / Ю. В. Захаров. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1994. – 504 с.
6. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова [и др.]. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 303 с.

7. Теплофизические основы получения искусственного холода: справочник / под ред. А. В. Быкова. – Москва: Пищевая пром-ть, 1980. – 231 с.
8. Stewart S. W. Enhanced Finned - Tube Condenser Design and Optimization. DPh thesis. 2003.
9. Kærn M. R. Analysis of flow maldistribution in fin-and-tube evaporators. PhD thesis. 2011.
10. Lee T. H., Lee J. S., Oh S. Y., Lee M. Y., Lee K. S.. Comparison of air-side heat transfer coefficients of several types of evaporators of household freezer/refrigerators (2002). Int. Refrigeration and Air-Conditioning Conference. Paper 611.
11. Zeller, M., Grewe, M. A Generalized Approximation Equation for the Efficiency of Fins on Circular and Elliptic Tubes. *Warme und Stoffübertragung-Thermo and Fluid Dynamics*, Vol. 29 (no. 6), pp. 379–382, June 1994.
12. Hong K. T., Webb R.L. 1996. Calculation of Fin Efficiency for Wet and Dry Fins. *HVAC&R Research*, Vol. 2, (no. 1), pp. 27–41.
13. Perrotin, T., Clodic, D., Fin Efficiency Calculation in Enhanced Fin-and-Tube Heat Exchangers in Dry Conditions. Proceedings of 21-st Int. Congress of Refrigeration. Paper ICR0026. August 2003.
14. Acosta-Iborra A., Campo A. Approximate analytic temperature distribution and efficiency for annular fins of uniform thickness. *Int. J. Thermal Sciences*, 2009, Vol. 48, (no. 4), pp. 773-780.
15. Falavand Jozaei A., Navaei M. M., Baheri A. Effects of fin per inch on heat transfer and pressure drop of an air cooler with circular and hexagonal fins. *Life Science Journal* (2013): 10(1). pp. 49-56.
16. Kadam. A. D., Padalkar A. S., Wale A. V. Parametric Study of Plain Fin and Tube Evaporator Using CO₂ as a Refrigerant. *Int. J. of Engineering Research and Development*. Vol. 3, Issue 2 (August 2012), pp. 59-69.
17. Wang L. B., Zeng M., Tang L. H., Wang Q. W. Air-side heat transfer and friction characteristics of fin-and-tube heat exchangers with various fin types. *WIT Transactions on state of the art in science and engineering*. Vol. 63. 2013. WIT Press. Chapter 7, pp. 211-235.
18. W. Pirompugd, C. C. Wang, S. Wongwiset. A review on reduction method for heat and mass transfer characteristics of fin-and-tube heat exchangers under dehumidifying conditions. *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (2009) 2370-2378.
19. Емельянов, А. Л. Методика расчета теплообмена при движении воздуха в поверхностных воздухоохладителях / А. Л. Емельянов, Е. В. Кожевникова // Вестник Международной академии холода. – 2014. – № 1. – С. 39-42.

REFERENCES

1. Gogolin A. A. i dr. *Intensifikatsiya teploobmena v isparitelyakh kholodil'nykh mashin* [Heat transfer enhancement in refrigeration evaporator]. Moscow, Legkaya i pishch. prom-st', 1982, 224 p.
2. Hu. R., Wang, C. C. A Review of Fin-and-Tube heat exchangers in air conditioning applications. *Int. J. Air-Conditioning and Refrigeration*. 2007, vol. 15, no. 3, pp. 85-100.

3. Schmidt T. E., 1949, Heat Transfer Calculations for Extended Surfaces. Refrigerating Engineering, 57, pp. 351- 357.
4. Gogolin A. A. *Konditsionirovaniye vozdukha v myasnoy promyshlennosti* [Air conditioning in meat industry]. Moscow, Pishchevaya prom-t', 1966, 239 p.
5. Zakharov Yu. V. *Sudovyye ustanovki konditsionirovaniya vozdukha i kholodil'nyye mashiny* [Shipboard installations for air conditioning and refrigerating machines]. Saint-Petersburg, Sudostroyeniye, 1994, 504 p.
6. *Teploobmennyye apparaty kholodil'nykh ustanovok* [Heat exchangers of refrigerating installations]. Danilova G. N. i dr. Leningrad, Mashinostroyeniye. Leningr. otd-iye, 1986, 303 p.
7. *Teplofizicheskiye osnovy polucheniya iskusstvennogo kholoda: spravochnik: Kholodil'naya tekhnika* [Thermophysical concepts of obtaining artificial cold: reference book: Refrigerating technology]. Moscow, Pishchevaya prom-t', 1980, 231 p.
8. Stewart S. W. Enhanced Finned - Tube Condenser Design and Optimization. DPh thesis. 2003.
9. Kærn M. R. Analysis of flow maldistribution in fin-and-tube evaporators. PhD thesis. 2011.
10. Lee T. H., Lee J. S., Oh S. Y., Lee M. Y., Lee K. S. Comparison of air-side heat transfer coefficients of several types of evaporators of household freezer/refrigerators (2002). Int. Refrigeration and Air-Conditioning Conference. Paper 611.
11. Zeller M., Grewe M. A Generalized Approximation Equation for the Efficiency of Fins on Circular and Elliptic Tubes. *Warme und Stoffübertragung-Thermo and Fluid Dynamics*, vol. 29, no. 6, pp. 379–382, June 1994.
12. Hong K. T., Webb R. L. 1996. Calculation of Fin Efficiency for Wet and Dry Fins. *HVAC&R Research*, vol. 2, no. 1, pp. 27–41.
13. Perrotin T., Clodic D. Fin Efficiency Calculation in Enhanced Fin-and-Tube Heat Exchangers in Dry Conditions. Proceedings of 21-st Int. Congress of Refrigeration. Paper ICR0026. August 2003.
14. Acosta-Iborra A., Campo A. Approximate analytic temperature distribution and efficiency for annular fins of uniform thickness. *Int. J. Thermal Sciences*, 2009, vol. 48, no. 4, pp. 773-780.
15. Falavand Jozaei A., Navaei M. M., Baheri A. Effects of fin per inch on heat transfer and pressure drop of an air cooler with circular and hexagonal fins. *Life Science Journal*, 2013, 10(1), pp. 49-56.
16. Kadam. A. D., Padalkar A. S., Wale A. V. Parametric Study of Plain Fin and Tube Evaporator Using CO₂ as a Refrigerant. *Int. J. of Engineering Research and Development*. Vol. 3, Issue 2 (August 2012), pp. 59-69.
17. Wang L. B., Zeng M., Tang L. H., Wang Q. W. Air-side heat transfer and friction characteristics of fin-and-tube heat exchangers with various fin types. *WIT Transactions on state of the art in science and engineering*. Vol. 63. 2013. WIT Press. Chapter 7, pp. 211-235.
18. W. Pirompugd, C. C. Wang, S. Wongwises. A review on reduction method for heat and mass transfer characteristics of fin-and-tube heat exchangers under dehumidifying conditions. *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (2009) 2370-2378.
19. Yemel'yanov A. L., Kozhevnikova Ye. V. *Metodika rascheta teploobmena pri dvizhenii vozdukha v poverkhnostnykh vozdukhookhladitelyakh* [Methodology for

calculating heat transfer in surface-type air coolers]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*. 2014, no. 1, pp. 39-42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ейдеюс Иозапас Альгирдас Иозапович – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; кандидат технических наук, профессор кафедры «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»;
E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Eideyus Algirdas Iozapas Iozapovich – Baltic Fishing Fleet State Academy of Kaliningrad State Technical University; PhD, professor of the Department «Refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning»;
E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Кошелев Сергей Валерьевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; аспирант, заведующий лабораторно-исследовательским центром кафедры «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»;
E-mail: entermoria@rambler.ru

Koshelev Sergey Valeryevich – Baltic Fishing Fleet State Academy of Kaliningrad State Technical University; post graduate student, head of the laboratory of the Department «Refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning»;
E-mail: entermoria@rambler.ru

Сластихин Юрий Николаевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование»;
E-mail: xktk@bga.gazinter.net

Slastikhin Yuriy Nikolaevich – Baltic Fishing Fleet State Academy of Kaliningrad State Technical University; PhD, Head of the Department «Refrigeration, cryogenic equipment and air conditioning»;
E-mail: xktk@bga.gazinter.net

УДК 637.5.03

ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВЫХ ОБОГАТИТЕЛЕЙ ИЗ СУБПРОДУКТОВ

О. В. Зинина, Д. Р. Тазеддинова

CHARACTERISTICS OF PROTEIN ENRICHERS FROM BY-PRODUCTS

O. V. Zinina, D. R. Tazeddinova

В статье рассмотрена проблема недостаточно полного использования вторичного белоксодержащего сырья, что является причиной создавшегося положения с нехваткой продовольственных ресурсов и экологическим неблагополучием на предприятиях мясной отрасли. Среди побочных продуктов убоя скота значительную роль занимают субпродукты. Согласно ГОСТ 32244-2013 «Субпродукты мясные обработанные. Технические условия» помимо внутренних органов к субпродуктам относят щековину, межсосковую часть, мясную обрезь, мясо голов, свиную шкуру. Они могут служить дополнительным источником получения продуктов питания и восполнить дефицит животного белка, что актуально для большинства развивающихся стран с очень бедным населением. В работе проведена оптимизация композиций из субпродуктов крупного рогатого скота – сердца, легкого, рубца, ушей, губ. Она осуществлялась по показателям биологической ценности с помощью инструмента «Поиск решения» приложения Microsoft Excel. По предложенным программой Excel рецептурам были составлены композиции и подвергнуты биотехнологической обработке бактериальным концентратом Бифилакт-Про. После тонкого измельчения биотехнологически обработанных субпродуктовых композиций получали белковые обогатители, у которых определяли физико-химические показатели – массовую долю влаги, белка и жира по стандартным методикам. Результаты исследований свидетельствуют о том, что содержание белка в обогатителях достаточно высокое (от 18,5 до 19,7%), при этом они обладают максимальными показателями биологической ценности для данных видов сырья. Следовательно, можно сделать вывод о том, что белковые обогатители из субпродуктов обладают высокой пищевой и биологической ценностью, что позволяет рекомендовать их при производстве мясопродуктов.

субпродукты, коллаген, животный белок, белковый обогатитель

The paper considers insufficient use of secondary protein-containing raw material caused by food shortages and environmental problems at the enterprises of the meat industry. By-products take a significant part among fall-outs of slaughter. According to GOST 32244-2013 «Processed meat by-products. Technical specifications» apart from visceral organs, by-products include cheek meat, intermammary part, trimmings, heads, pig skin. They can serve as an additional feed source and make good the deficit of animal protein, which is relevant for most

developing nations with very poor populations. Optimization of compositions from by-products of cattle – heart, lung, tripe, ears, lips was carried out in the present work. Optimization was carried out by indicators of biological value using Solver application of the Microsoft Excel. According to the proposed by the Excel recipes, compositions have been made and subjected to biotechnological treatment with bacterial concentrate Bifilact-Pro. After fine grinding of biotechnologically processed offal compositions, protein enrichers have been obtained, which physical and chemical indices– the mass fraction of moisture, protein and fat, have been determined using standard methods. The results of the studies showed that the protein content in the enrichers is quite high (from 18.5 to 19.7%), however, they have the maximum biological value for these raw materials. According to the obtained results, it can be concluded, that the protein enricher from by-products have high food and biological value, which makes it possible to recommend them for the production of meat products.

by-products, collagen, animal protein, protein enricher

ВВЕДЕНИЕ

В сложившихся экономических условиях перед большинством мясоперерабатывающих предприятий остро стоит проблема максимального и рационального использования вторичных и побочных продуктов переработки сельскохозяйственных животных и птицы, богатых белками. Нерациональное или недостаточно полное применение вторичного белоксодержащего сырья является причиной создавшегося положения с нехваткой продовольственных ресурсов и экологическим неблагополучием на предприятиях отрасли [1].

Американские ученые отмечают экономическую целесообразность эффективного использования вторичных продуктов убоя животных. Затраты на утилизацию, а также ее отрицательное воздействие на окружающую среду являются дополнительным стимулом для более эффективного применения мясных субпродуктов и других видов вторичного сырья [2].

К вторичным продуктам переработки сельскохозяйственных животных относятся внутренние органы (желудок, печень, почки, кишки, селезенка, вымя и т.д.), шкуры и другие технологические отходы (голова, уши, губы, путовый сустав и др.), образующиеся в процессе получения основного продукта – мяса.

Среди побочных продуктов убоя скота значительную роль занимают субпродукты. Согласно ГОСТ 32244-2013 «Субпродукты мясные обработанные. Технические условия» к ним относят щековину, межсосковую часть, мясную обрезь, мясо голов, свиную шкуру. Выход субпродуктов первой категории по данным ВНИИМПа составляет 3, а второй – 7% к живой массе скота [3]. На предприятиях по убою животных в Великобритании субпродукты делятся на красные (голова, печень, легкие, язык, хвост и т.д.) и белые (жир), а также выделяют отделы кишечника, мочевого пузыря, отдел желудка (рубец), четыре ноги и мясную обрезь [4]. В США вместо понятия «субпродукты» используют выражения «organ meats» или «variety meats» [5].

Одной из основных проблем в питании все увеличивающегося населения мира, особенно развивающихся стран, является недостаток белковой пищи [6]. В глобальном мире население растет и стареет, каждое поколение ожидает более высокий уровень жизни, чем предыдущее. Белки необходимы в ежедневном

рационе, потому что им принадлежит основная роль в обеспечении организма питательными веществами. Для удовлетворения потребностей населения в белковой пище исследователи изучают альтернативные источники белка, решают проблемы оптимального его использования, чтобы увеличить доступность и повысить усвояемость [7]. По оценке Всемирной организации здравоохранения, 5 млн чел. умирают каждый год от голода, в связи с этим следует больше внимания уделять возможности использования животных белков, в том числе тех, которые содержатся в субпродуктах [5].

Субпродукты представляют высокую ценность в качестве источника дешевого белка, что актуально для большинства развивающихся стран с очень бедным населением. Здесь субпродукты являются основным продуктом питания в рационах многих людей [8]. Так, например, потребление их в пищу в Турции и Индии выше, чем в других странах мира [9, 10].

Преобладающим составным компонентом некоторых субпродуктов является коллаген с включениями (в зависимости от вида сырья) различных количеств жировой и мышечной ткани. Говяжьи субпродукты по содержанию коллагена и, следовательно, потенциальной возможности получения из них белковых продуктов располагают в следующей последовательности: уши – губы – рубец – легкие – ножки – семенники (КРС и МРС) [11].

Все субпродукты являются ценным источником белка и витаминов. По общему содержанию белковых веществ они почти не уступают мясу, однако по полноценности белков резко отличаются [2]. Печень, хвост, уши и ноги крупного рогатого скота имеют уровень белка, близкий к мышечной ткани, но в ушах и ногах содержится большое количество коллагена [12]. Аминокислотный состав субпродуктов отличается от состава мышечной ткани значительным количеством соединительной ткани. В результате побочные продукты, такие как уши, ноги, легкие, желудок и потроха, содержат большее количество пролина, гидроксипролина и глицина, а также имеют более низкий уровень триптофана и тирозина. В таких субпродуктах, как легкие, почки, мозг, селезенка и рубец, более высокий уровень влажности, чем в мясе. В печени и почках содержится больше углеводов по сравнению с другими видами мясного сырья [13]. Многие субпродукты содержат больше полиненасыщенных жирных кислот, чем постное мясо. Мозги, сердце, почки, печень и легкие имеют самый низкий уровень мононенасыщенных жирных кислот и самый высокий – полиненасыщенных. Содержание витаминов в субпродуктах, как правило, выше, чем в постном мясе [9]. Субпродукты (язык, печень, вымя, легкие, селезенка) являются существенным источником минеральных веществ и ряда витаминов, особенно группы В. Много железа в языке, селезенке, легких, сычуге [14]. Среди субпродуктов особое место занимают говяжий рубец и свиной желудок, так как имеют наибольший выход к весу туши животного. Недостаточное использование рубца объясняется специфичностью его свойств [15].

Большинство субпродуктов отличается хорошей переваримостью белков. Наиболее высокой скоростью переваримости (*in vitro*) обладают белки селезенки, почек, легких, рубца; средней – сердца, вымени, языка; самой низкой – мяса голов, губ [16].

Анализ априорной информации показал, что в настоящее время сложились разные направления использования субпродуктов и других вторичных

коллагенсодержащих продуктов. В качестве одного из основных направлений можно выделить получение белково-жировых эмульсий, гидролизатов; многофункциональных препаратов; структурированных продуктов (типа чипсов, экструдатов); желатина.

Во многих странах такие субпродукты, как селезенка, легкие, трахея, губы, и желудок, применяются в производстве кормов для домашних животных. В США приблизительно 50% животного сырья не используется в питании людей и возникает необходимость его переработки, в частности в корма для домашних животных [17].

В Германии также одним из основных направлений переработки вторичного сырья является производство кормов для непродуктивных и сельскохозяйственных животных [18]. Субпродукты часто употребляли в пищу в Азии, но озабоченность здоровьем привела к усилению внимания к таким областям использования, как производство кормов для домашних животных, фармацевтических препаратов, косметических средств и кормов для сельскохозяйственных животных.

Коллагеновые композиции, белково-коллагеновые эмульсии широко применяются в производстве колбасных изделий и полуфабрикатов не только в нашей стране, но и за рубежом [19-22].

Печень входит в состав многих мясопродуктов, таких как колбасы, паштеты [13]. В Европе и США предпочитают печень молодых животных, поскольку она имеет более легкий вкус и текстуру. Потребители в Юго-Восточной Азии ценят свиную печень в тушеном или жареном виде. Сердце подвергают жарке или тушению, а также включают как компонент рецептур колбасных изделий. Селезенка и легкие питательны, но обладают мало приемлемыми сенсорными характеристиками, хотя селезенка используется в некоторых традиционных вареных колбасах [6]. Установлено, что колбасы из субпродуктов являются хорошим источником белка, витаминов и минеральных веществ [23]. Бараньи легкие в основном применяются в качестве начинки, а также используются в некоторых видах колбас и мясопродуктов [24]. Рубец буйволов является одним из важных пищевых субпродуктов. Он составляет примерно 1,3% от убойного веса буйволов. В Индии большинство буйволиного рубца используется недостаточно или выбрасывается в виде отходов. Были предприняты попытки разрабатывать продукты с добавленной стоимостью исключительно из буйволиного рубца [25, 26]. Несмотря на высокую пищевую ценность, применение субпродуктов в составе мясопродуктов часто ограничивается из-за вариации состава или функциональности, а также непривлекательными органолептическими качествами [27]. Так, рубец требует тщательной очистки и имеет неприятный специфический запах при тепловой обработке, однако в готовом виде обладает пикантным вкусом [28].

Пищевые субпродукты представляют собой интересный источник белка для производства антиоксидантных пептидов [29]. Стратегия по улучшению использования вторичных продуктов основана на применении ферментативного гидролиза вторичных продуктов убоя [30]. Модифицированные белки рассматриваются как пищевые ингредиенты с добавленной стоимостью, т. е. специальные белки, полученные с использованием ферментативных реакций,

гидролиза, брожения, термообработки, подкисления, обезвоживания, эмульгирования и ультрафильтрации [7].

В Казахстане, как и в России, одним из наиболее рациональных направлений промышленного использования субпродуктов является их предварительная обработка для получения паст, суспензий, эмульсий с последующим использованием при выработке вареных, полукопченых колбас и других мясопродуктов в качестве основного сырья [31-33].

В последние годы актуально создание высокопитательных продуктов на основе коллагена в сочетании с мышечными белками. Положительной характеристикой мясных изделий с высоким содержанием соединительной ткани является благоприятное воздействие на работу пищеварительной системы, связанное со спецификой свойств продуктов распада коллагена, присущих пищевым волокнам [34, 35].

Высокие функционально-технологические показатели коллагена [34] открывают широкие перспективы для разработки новых технологий [36], позволяющих заменить основное сырье и получить при этом высококачественные продукты.

В соответствии с вышеизложенным, целью работы является оценка белковых обогатителей из субпродуктов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для получения белковых обогатителей использовали субпродукты крупного рогатого скота – сердце, легкие, уши, губы, рубец. При определении оптимального соотношения субпродуктов в составе белкового обогатителя была проведена оптимизация состава субпродуктовой композиции с помощью инструмента «Поиск решения» приложения Microsoft Excel.

Для улучшения качественных характеристик используемого сырья была проведена его биотехнологическая обработка бактериальным концентратом Бифилакт-Про («Экспериментальная биофабрика» Россельхозакадемии, г. Углич). Белковые обогатители получали следующим образом. Подготовленные субпродукты измельчали на мясорубке с диаметром отверстий решетки 2-3 мм, составляли субпродуктовую композицию из различных видов субпродуктов (согласно результатам оптимизации), вносили активизированный концентрат в количестве 20% от массы субпродуктов, перемешивали и термостатировали при температуре 37°C в течение 4 ч. Биотехнологически обработанные субпродуктовые композиции подвергали тонкому измельчению с добавлением ледяной воды в количестве 20% от массы сырья. В полученных таким образом белковых обогатителях определяли массовую долю влаги, жира и белка по стандартным методикам: содержание жира – методом Сокслетта, содержание белка – методом Къельдаля, содержание влаги – высушиванием при температуре 105°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизацию рецептуры субпродуктовой композиции проводили по показателям биологической ценности по отношению к рекомендуемым значениям содержания незаменимых аминокислот в «идеальном» (стандартном) белке согласно данным продовольственной и сельскохозяйственной организации ФАО/ВОЗ.

В процессе оптимизации программа предлагает несколько комбинаций ингредиентов (рисунок), удовлетворяющих ожидаемым требованиям по биологической ценности композиции, одновременно представляя результаты расчета коэффициента различия аминокислотного сора и показателя биологической ценности.

Ингредиенты	Масса сырого сырья	Содержание аминокислот, г на 100 г белка								
		Валин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин+цистин	Треонин	Триптофан	Фенилаланин+тирозин	Фенилаланин
Рубец x1	0,048603225	3,92	3,43	6,12	5,82	1,58	3,62	0,91	5,86	
Легкие x2	0	5,56	3,65	8,46	6,24	2,08	3,54	0,78	9,17	
Уши x3	0,284351578	3,48	2,08	4,16	4,18	1,67	2,18	0,52	3,86	
Губы x4	0	3,52	3,12	5,74	6,38	1,92	3,08	0,74	5,68	
Сердце x5	0,667045196	6,12	4,86	8,82	7,94	4,42	4,92	1,36	8,24	
ФАО ВОЗ	1	5,26	4,00	7,36	6,77	3,50	4,08	1,10	6,88	
Аминокислотный скор, %		105,2477	100	105,195613	123,0509	100	101,94231	109,92732	114,64774	107,501447
Коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС, %)										7,50144721
Биологическая ценность										92,4985528

Рис. Пример расчета рецептуры субпродуктовой композиции в программе Excel
Fig. Example of calculating the formulation of the offal composition in Excel

Предложенные программой рецептуры композиций и их показатели биологической ценности представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры субпродуктовых композиций и их показатели биологической ценности

Table 1. Formulations of offal compositions and their biological values

Показатели	Значение показателя			
	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	4-й вариант
Содержание компонента, %				
рубец	4,9	-	-	-
легкие	-	-	22,5	1,9
уши	28,4	25,4	0,2	26,3
губы	-	8,9	13,7	6,1
сердце	66,7	65,7	63,5	65,7
Аминокислотный скор, %	107,5	107,5	116,5	107,7
КРАС, %	7,5	7,5	14,4	7,7
Биологическая ценность, %	92,5	92,5	85,6	92,3

По полученным в процессе оптимизации рецептурам были изготовлены белковые обогатители, у опытных образцов определены физико-химические показатели. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химические показатели белковых обогатителей

Table 2. Physical and chemical indicators of protein enrichers

Показатель	Значение показателя, %			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Массовая доля влаги	74,4±0,2	73,8±0,2	75,5±0,3	74,6±0,3
Массовая доля белка	19,1±0,2	19,7±0,3	18,5±0,1	19,5±0,1
Массовая доля жира	3,3±0,1	3,1±0,1	2,7±0,1	3,1±0,1

Результаты исследований свидетельствуют о том, что белковые обогатители, полученные на основе биотехнологически обработанных субпродуктов, обладают высоким содержанием белка, а также максимально возможными показателями биологической ценности для данных видов сырья. Соответственно, их можно применять в производстве мясопродуктов в качестве альтернативы соевым белкам, что, с одной стороны, способствует импортозамещению на рынке белковых препаратов, с другой – позволяет рационально использовать мало востребованные пищевые субпродукты.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате аналитической работы была систематизирована имеющаяся информация об основных направлениях использования субпродуктов в различных странах мира. Максимальное применение имеющихся ресурсов мясной отрасли актуально в условиях дефицита пищевого белка.

В результате проведенной работы оптимизированы рецептуры субпродуктовых композиций по показателям биологической ценности. В процессе биотехнологической обработки полученных субпродуктовых композиций и их последующего тонкого измельчения были изготовлены белковые обогатители, у которых определены физико-химические показатели – массовая доля белка, влаги и жира. Исследования показали: белковые обогатители из субпродуктов обладают высокой пищевой и биологической ценностью, что позволяет рекомендовать их при производстве мясопродуктов.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипова, Л. В. Использование вторичного коллагенсодержащего сырья в мясной промышленности: учеб. пособие / Л. В. Антипова, И. А. Глотова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. – 384 с.
2. Smith, J. Technology of Reduced-Additive Foods / J. Smith et al// Chapman & Hall, 1993. – P. 26–30.

3. Использование вторичных сырьевых ресурсов на мясоперерабатывающих предприятиях: моногр. / О.В. Зинина [и др.]. – Челябинск: ЮУрГУ, 2010.–107 с.
4. Schrieber, R. Gelatine production, the six steps to maximum safety / R.Schrieber, U.Seybold // *Developments in Biology Standards*, 1993. - № 80. – P.195
5. Salomina, M. Nutrient content of South African C2 beef offal / M. Salomina, van Heerden, M. Liesl // *Food Measure*, 2014. – №8. – P.249–258.
6. Subba, D. Acceptability and nutritive value of keropok-like snack containing meat offal // *J Food Sci. Tech.*, 2002. – №37(6). – P.681–685.
7. Sun-Waterhouse, D. Protein Modification During Ingredient Preparation and Food Processing: Approaches to Improve Food Processability and Nutrition / Dongxiao Sun-Waterhouse, Mouming Zhao, Geoffrey I.N. Waterhouse// *Food Bioprocess Technol.*, 2014. – №7. – P. 1853–1893. – DOI 10.1007/s11947-014-1326-6
8. Stanley, B. Exploiting the potential of the fifth quarter. Spring Barrow Lodge Farm. Swannymote Road, Grace Dieu, Nr Coalville, Leicestershire, LE67 5UT, 2009.
9. Jayathilakan, K. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review/ K. Jayathilakan, Khudsia Sultana, K. Radhakrishna, A. S. Bawa. // *J Food Sci Technol*, 2012. – №49(3). – P. 278–293. – DOI 10.1007/s13197-011-0290-7.
10. Coskuntuna, L. Investigating Fatty Acid Composition of Samples were Homogenized Various Meat and Offal Products from Turkey/ L. Coskuntuna, U. Gecgel, I. Yilmaz et al. // *J Am Oil Chem Soc*, 2015. – № 92. – P. 659–665. – DOI 10.1007/s11746-015-2597-4
11. Тулеуов, Е.Т. Использование вспомогательного сырья животных в мясной индустрии / Е.Т. Тулеуов, С.К. Касымов // *Пищевая технология и сервис*. – 2009. – № 2. – С. 3–6.
12. Unsal, M. Fractionation and characterization of edible sheep tail fat / M. Unsal, N. Aktas // *Meat Sci*, 2003. – №63(4). – P.235
13. Devatkal, S. Physicochemical, functional and microbiological quality of buffalo liver / S. Devatkal, S.K. Mendiratta, N. Kondaiah et al. // *Meat Sci*, 2004. - №68(5). – P.79–86.
14. Кузнецов, А.М. Методы и критерии оценки свежести субпродуктов: легкие, язык, вымя, рубец: автореф. дис. ... канд. вет. наук: 16.00.06 / Кузнецов Александр Михайлович. – Москва, 2009. – 16 с.
15. Пат. 226841 Российская Федерация, МПК7 А 23 J 3/34, А 23 J 3/04. Способ получения белковой пищевой добавки / Л.В. Антипова. – № 2002125597/13; заявл. 24.09.02; опубл. 20.04.04. – 8 с.
16. Anonymous. *Animal by-products. Their use in animal nutrition*. Feed Compounder, 1985. – Т. 5. – № 10. – P. 15–16.
17. Halpin, К.М. By-products usage / К.М. Halpin, J.E. Sullivan, R. Bradfield // *Petfood industry*. – 1999. – № 3. – P. 37–40.
18. Hertrampf, J. W. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds* / J. W. Hertrampf et al // Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 291–293.
19. Pat. RU2166858. Method for producing protein emulsion from pork scin for minced meat products / Baer N.A., Nekljudov A.D., Aleshin A.A., Berdutina A.V. 24.08.2000.

20. Patent AU 783154 B2. Emulsion for processed meat and processed meat using the emulsion / Kunio Okada, Katsuichi Tokumoto. 25.09.2005.
21. Patent AU 783154 C. Emulsion for processed meat and processed meat using the emulsion / Kunio Okada, Katsuichi Tokumoto. 11.01.2007.
22. Watanabe Itaru, Isoda Masaki, Iwama Kiyoshi. Sausage, Patent abstract of Japan 176800, 07.07.2005.
23. Magoro, M.M. The sensory, nutritional and shelf-life attributes of fresh meat sausages containing beef offal. M Tech. Thesis, Tshwane University of Pretoria, Department of Biotechnology and Food Technology, Private Bag X 680, Pretoria 0001, South Africa, 2007.
24. Darine, S. Production and functional properties of beef lung protein concentrates/ S. Darine, V. Christophe, D. Gholamreza // *Meat Sci.*, 2010. – №84 (4). – P. 315.
25. Anandh, M.A. Development and quality evaluation of cooked buffalo tripe rolls / Anna M. Anandh, K. Radha, V. Lakshmanan, S.K. Mendiratta // *Meat Sci.*, 2008. – №80. – P. 1194
26. Anandh, M.A. Quality and shelf life of cooked buffalo tripe rolls at refrigerated storage under vacuum packaging condition / M. Anna Anandh, R. T. Venkatachalapathy, K. Radha, V. Lakshmanan // *J Food Sci Technol.*, 2014. – №51 (7). – P.1370–1376. - DOI 10.1007/s13197-012-0646-7
27. Toldrá, F. New insights into meat by-product utilization / F.Toldrá, L. Mora, R. Milagro // *Meat Science*, 2016. - Vo. 120. - P. 54–59.
28. Dermot J. Offal Trade in the United States and the European Community: Consumption Patterns, Valorization, Hormone Use, and Policy Projections / J. Dermot Hayes // *Agribusiness*, 1989. - Vol. 5. - № 6. – P. 633-655.
29. Damgaard, T.D. Antioxidant capacity of hydrolyzed porcine tissues/ T.D. Damgaard, J. Otte, L. Meinert et al. // *Food Sci Nutr*, 2014. – №2. – P.282
30. Damgaard, T.D. Antioxidant capacity of hydrolyzed animal by-products and relation to amino acid composition and peptide size distribution / T. Damgaard, R. Lametsch, J. Otte // *J Food Sci Technol*, 2015. – №52(10). – P. 6511–6519. - DOI 10.1007/s13197-015-1745-z
31. Машанова, Н. С. Научно–практические основы эффективного использования коллагенсодержащего сырья в производстве мясных продуктов: автореф. дис. ... д-р тех. наук: 0518.04 / Машанова Нурбиби Советовна. – Алматы, 2010. – 36 с.
32. Аминокислотный состав паштетов на основе мяса марала и белкового обогатителя / Э.К. Окусханова [и др.]. // *Техника и технология пищевых производств*, 2015. – Т. 39. – № 4. – С. 71-79.
33. Okuskhonova, E. Mineral composition of deer meat pate/ E.Okuskhonova, B.Assenova, M.Rebezov et al.// *Pakistan Journal of Nutrition*, 2016. – Т. 15. – № 3. – С. 217-222.
34. Asghar, A. Chemical, biochemical, functional, and nutritional characteristics of collagen in food systems / A. Asghar, R.L. Henrickson // *Advances in Food Research.*, 1982. – №28. – P.232-372.
35. Neklyudov, A.D. Nutritive fibers of animal origin: Collagen and its fractions as essential components of new and useful food products / *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2003. – №39(3). – P. 229-238.

36. Gomez-Guillen, M.C. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review / M.C. Gomez-Guillen, B. Gimenez, M.E. Lopez-Caballero, M.P. Montero // *Food Hydrocolloids*, 2011. – №25. – P. 1813-1827.

REFERENCES

1. Antipova L.V., Glotova I.A. *Ispol'zovanie vtorichnogo kollagensoderzhashhego syr'ja v mjasnoj promyshlennosti* [Using secondary collagen-containing raw materials in meat industry]. Saint- Petersburg, GIORD, 2006, 384 p.
2. Smith J. *Technology of Reduced-Additive Foods*. Chapman & Hall, 1993, pp. 26–30.
3. Zinina O.V., Rebezov M.B., Lukin A.A., Khayrullin M.F. *Ispol'zovanie vtorichnykh syr'evykh resursov na myasopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh* [Using secondary raw materials in meat processing plants]. Chelyabinsk, YuUrGU, 2010, 107 p.
4. Schrieber R., Seybold U. Gelatine production, the six steps to maximum safety. *Developments in Biology Standards*, 1993, vol. 80, pp. 195.
5. Salomina M., van Heerden, Liesl M. Nutrient content of South African C2 beef offal. *Food Measure*, 2014, vol. 8, pp.249–258.
6. Subba D. Acceptability and nutritive value of keropok-like snack containing meat offal. *J Food Sci. Tech.*, 2002, vol. 37(6), pp.681–685.
7. Sun-Waterhouse D., Zhao M., Waterhouse G.I.N. Protein Modification During Ingredient Preparation and Food Processing: Approaches to Improve Food Processability and Nutrition. *Food Bioprocess Technol.*, 2014, vol.7, pp. 1853–1893.
8. Stanley B. Exploiting the potential of the fifth quarter. Leicestershire, LE67 5UT, 2009.
9. Jayathilakan K., Sultana K., Radhakrishna K., Bawa A.S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *J Food Sci Technol*, 2012, vol. 49(3), pp. 278–293.
10. Coskuntuna L., Gecgel U., Yilmaz I. Investigating Fatty Acid Composition of Samples were Homogenized Various Meat and Offal Products from Turkey. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, vol. 92, pp. 659–665.
11. Tuleuov E.T., Kasymov S.K. *Ispol'zovanie vspomogatel'nogo syr'ya zhivotnykh v myasnoy industrii* [Using auxiliary animal feedstock in meat industry] *Pishchevaya tekhnologiya i servis*, 2009, vol. 2, pp. 3–6.
12. Unsal M., Aktas N. Fractionation and characterization of edible sheep tail fat. *Meat Sci*, 2003, vol. 63(4), pp. 235.
13. Devatkal S., Mendiratta S.K., Kondaihet N. et al. Physicochemical, functional and microbiological quality of buffalo liver. *Meat Sci*, 2004, vol. 68(5), pp.79–86.
14. Kuznetsov A.M. *Metody i kriterii otsenki svezhesti subproduktov: legkie, yazyk, vymya, rubets. Avtoreferat dis. kand. vet. nauk* [Methods and criteria for assessing the freshness of by-products: lung, tongue, udder, tripe. Extended abstract of Cand. Sci. Dissertation.]. Moscow, 2009, 16 p.
15. Antipova L.V. Sposob polucheniya belkovoy pishchevoy dobavki [Method for production of a protein food supplement]. *Patent RU226841*, 20.04.04, 8 p.

16. Anonimous. Animal by-products. Their use in animal nutrition. *Feed Compounder*, 1985, vol. 5, iss. 10, pp.15–16.
17. Halpin K.M., Sullivan J.E., Bradfield R. By-products usage. *Petfood industry*, 1999, vol. 3, pp. 37–40.
18. Hertrampf J.W. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, 2000, pp.291–293.
19. Baer N.A., Nekljudov A.D., Aleshin A.A., Berdutina A.V. Method for producing protein emulsion from pork skin for minced meat products. *Patent RU2166858*, 24.08.2000.
20. Okada K., Tokumoto K. Emulsion for processed meat and processed meat using the emulsion. *Patent AU 783154 B2*, 25.09.2005.
21. Okada K., Tokumoto K. Emulsion for processed meat and processed meat using the emulsion. *Patent AU 783154 C*, 11.01.2007.
22. Watanabe Itaru, Isoda Masaki, Iwama Kiyoshi. Sausage, Patent abstract of Japan 176800, 07.07.2005.
23. Magoro M.M. The sensory, nutritional and shelf-life attributes of fresh meat sausages containing beef offal. M Tech. Thesis, Tshwane University of Pretoria, Department of Biotechnology and Food Technology, Private Bag X 680, Pretoria 0001, South Africa, 2007.
24. Darine S., Christophe V., Gholamreza D. Production and functional properties of beef lung protein concentrates. *Meat Sci.*, 2010, vol. 84(4), pp.315.
25. Anandh M.A., Radha K., Lakshmanan V., Mendiratta S.K. Development and quality evaluation of cooked buffalo tripe rolls. *Meat Sci.*, 2008, vol. 80, pp. 1194
26. Anandh M.A., Venkatachalapathy R.T., Radha K., Lakshmanan V. Quality and shelf life of cooked buffalo tripe rolls at refrigerated storage under vacuum packaging condition. *J Food Sci Technol.*, 2014, vol. 51(7), pp.1370–1376.
27. Toldrá F., Moraa L., Milagro R. New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*, 2016, vol. 120, pp.54–59.
28. Dermot J. Offal Trade in the United States and the European Community: Consumption Patterns, Valorization, Hormone Use, and Policy Projections. *Agribusiness*, 1989, vol. 5, iss. 6, pp. 633-655.
29. Damgaard T.D., Otte J., Meinert L. et al. Antioxidant capacity of hydrolyzed porcine tissues. *Food Sci Nutr*, 2014, vol. 2, pp.282.
30. Damgaard T.D., Lametsch R., Otte J. Antioxidant capacity of hydrolyzed animal by-products and relation to amino acid composition and peptide size distribution. *J Food Sci Technol*, 2015, vol. 52(10), pp. 6511–6519.
31. Mashanova N.S. *Nauchno–prakticheskie osnovy effektivnogo ispol'zovaniya kollagensoderzhashchego syr'ya v proizvodstve myasnykh produktov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific and practical foundations of effective use of collagen-containing raw material in production of meat products. Extended Abstract of Cand. Sci. Dissertation]. Almaty, 2010, 36 p.
32. Okuskhanova E.K., Asenova B.K., Rebezov M.B., Omargalieva N.K., Esimbekov Zh.S. Aminokislотноy sostav pashtetov na osnove myasa marala i belkovogo obogatitelya [Amino acid composition of pates based on maral meat and protein enricher]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2015, vol. 39, iss. 4, pp.71-79.

33. Okuskhanova E., Assenova B., Rebezov M. et al. Mineral composition of deer meat pate. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2016, vol. 15, iss. 3, pp. 217-222.

34. Asghar A., Henrickson R.L. Chemical, biochemical, functional, and nutritional characteristics of collagen in food systems. *Advances in Food Research*, 1982, vol. 28. pp. 232-372.

35. Neklyudov A.D. Nutritive fibers of animal origin: Collagen and its fractions as essential components of new and useful food products. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2003, vol. 39(3), pp. 229-238.

36. Gomez-Guillen M.C., Gimenez B., Lopez-Caballero M.E., Montero M.P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources. *Food Hydrocolloids*, 2011, vol. 25, pp.1813-1827.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зинина Оксана Владимировна – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Zinina Oksana Vladimirovna – South Ural State University; PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Тазеддинова Диана Рашитовна – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск; аспирант; E-mail: tazeddinova@bk.ru

Tazeddinova Diana Rashitovna – South Ural State University; post graduate student; E-mail: tazeddinova@bk.ru

УДК 664.951.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОРЕГУЛЯТОРОВ ПРОТЕОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРЕСЕРВОВ

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

USE OF PROTEOLYSIS BIOREGULATORS OF PLANT ORIGIN IN CANNED
FOOD TECHNOLOGY

S. N. Maksimova, T. N. Slutskaaya, D. V. Poleschuk, S. Yu. Ponomarenko,
V. I. Poleschuk

Постоянно увеличивающийся вылов сардины тихоокеанской ставит перед рыбной отраслью задачу – обеспечить выпуск из этого объекта высококачественной пищевой продукции с повышенными товарными свойствами [1].

С учетом биохимических особенностей и химического состава сардины тихоокеанской наиболее целесообразным будет производство из нее соленой (пресервной) продукции [2].

При производстве пресервной продукции возможно рассчитать и спланировать ее биологическую и пищевую ценность, уменьшить или устранить недостатки используемого сырья, а также привести их в соответствие с формулой сбалансированного питания.

Одной из особенностей сардины тихоокеанской является высокая активность ферментов тканей и внутренних органов исходного сырья, что может привести не только к окислению липидов и размягчению консистенции мяса, но и потере качественных характеристик данной продукции [3, 4].

Решить эту проблему можно использованием в технологии стабилизирующих компонентов растительного происхождения, способных к ингибированию ферментов, размягчающих структуру тканей [5].

В статье представлен белковый состав ингибиторов растительного происхождения протеолиза, а также выход ингибитора при его получении. Выявлено молекулярно-массовое распределение белковой части ингибитора. Изучены физико-химические и биохимические показатели пресервов из сардины тихоокеанской (иваси), изготовленных с применением в составе посольной смеси ингибиторов растительного происхождения, в течение срока хранения.

На основании полученных результатов исследования сделан вывод о том, что ингибиторы растительного происхождения оказывают положительный технологический эффект в течение созревания и хранения пресервов из сардины тихоокеанской (иваси) за счет сохранения структуры миофибрилл мышечной ткани.

сардина тихоокеанская, ингибиторы растительного происхождения, технология, посол, буферность, степень протеолиза

Constantly increasing catch of the Pacific sardine offers the fishing industry a challenge - to ensure release of high-quality food products with increased commercial properties.

Given the biochemical features and chemical composition of the Pacific sardine, the production of salted (preserved) products will be most appropriate [2].

When producing canned food products, it is possible to calculate and plan biological and nutritional value, reduce or eliminate shortcomings of the raw materials used, and also bring them into line with the balanced nutrition formula.

One of the features of the Pacific sardine is high activity of the tissue enzymes and internal organs of the raw material, which can lead not only to the oxidation of lipids and softening of meat consistency, but also to the loss of quality characteristics of this product.

This problem can be solved by the use in of stabilizing components of plant origin, capable of inhibiting enzymes that soften the tissue structure.

The paper presents protein composition of the proteolysis inhibitors of plant origin, as well as the yield of the inhibitor when it is prepared. Molecular weight distribution of the protein part of the inhibitor is determined. Physical- chemical and biochemical parameters of the preserves from the Pacific sardine, with the use of a saline mixture of plant-derived inhibitors during the shelf life have been examined.

Based on the obtained data, it was concluded that the received plant inhibitors had a positive technological effect during maturation and storage of preserves from the Pacific sardine due to the preservation of the myofibril structure of the muscle tissue.

pacific sardine, inhibitors of plant origin, technology, salting, buffer state, proteolysis degree

ВВЕДЕНИЕ

Анализ современных литературных источников показал, что в настоящее время вопросу совершенствования технологии соленой продукции из сардины тихоокеанской (иваси) уделяется недостаточно внимания. Основные научно обоснованные работы по данной теме проводились учеными ТИПРО-Центра [6, 7].

Нами были проанализированы способы повышения качественных характеристик, а также хранимостпособности соленой продукции из сардины тихоокеанской (иваси), и наиболее предпочтительным из них было внесение в продукт веществ, обладающих свойствами, ингибирующими протеолитические ферменты сардины тихоокеанской (иваси).

В качестве ингибиторов протеолиза нами было предложено использовать ингибиторы природного происхождения из картофеля и рисовой полумы (шелухи).

Целью настоящей работы являлось исследование влияния ингибиторов растительного происхождения на качественные характеристики пресервов из сардины тихоокеанской (иваси).

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

В качестве объектов исследования использовали рисовый и картофельный ингибиторы, соответствующие требованиям ТУ 15-01 160292-97 «Ингибитор протеаз», и мороженую сардину тихоокеанскую (иваси), соответствующую требованиям ТУ 9261-368-00472012-2015 «Сардина тихоокеанская (иваси)».

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

Общее содержание белков определяли по методу Лоури с реактивом Фолина-Чекольте на спектрофотометре Shimadzu UV-1800.

Исследование фракционного состава белков и пептидов проводили с использованием колонки Sephadex G-25 (10 mm x 600 mm, Amersham Pharmacia Biotech, Piscataway, NJ, USA), буфер 0,1 N NaCl-20 mM Tris-HCl, pH 8,0, скорость

потока 0,3 мл/мин, $\lambda = 280$ нм. Молекулярную массу белков и пептидов рассчитывали с помощью маркеров молекулярной массы (Sigma): апротинин (6,5 кДа), цитохром (12,5 кДа), миоглобин (18,0 кДа), яичный альбумин (42,0 кДа), бычий сывороточный альбумин (68,0 кДа) и используя сравнение времени удержания.

Содержание небелкового азота (Ннб), белкового азота (Нб) вычисляли по методикам, принятым для исследования указанных веществ.

Степень созревания соленого полуфабриката и пресервов определяли по показателю буферности согласно ГОСТ 19182-89.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На первом этапе были проведены эксперименты по получению ингибиторов протеолиза, источниками при этом являлись картофель и рисовая полва. Обоснованы основные операции: экстракция соляной или серной кислотой измельченного сырья, осаждение хлоридом натрия (40-60% насыщения), формирование осадка, центрифугирование, хранение при температуре 0 – минус 4 – минус 6°C.

Результаты по определению выхода ингибиторов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Определение выхода ингибиторов

Table 1. Inhibitors yield determination

Образец	Исходная масса, г	Масса ингибитора, г	Выход, %	Количество белка, %	Выход по белку, %
Рисовая полва	300 - 640	54,1 – 66,1	18,0–10,3	1,06 – 1,25	12,8 – 19,1
Картофель	1000-2000	131,2–172,9	8,6 – 13,1	3,96 – 7,95	51,9 – 65,8

Анализ данных (табл. 1) показывает, что, несмотря на кажущийся более высокий выход ингибитора из рисовой полвы, количество собственно белков ингибитора в случае применения в качестве сырья картофеля выше.

Полученные ингибиторы были исследованы с целью определения молекулярно-массового состава белковой части. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Фракционный состав водорастворимой фракции белков ингибиторов

Table 2. Fractional composition of water-soluble fraction of inhibitor proteins

Образец	Молекулярная масса, кДа	Содержание, %
Ингибитор из рисовой полвы	24,3	41,5
	19,6	15,3
	17,0	6,2
	14,7	10,3
	5 <	12,6
Ингибитор из картофеля	25,8	24,5
	19,7	8,6
	18,0	25,3
	11,7	28,6
	5 <	10,5

Из табл. 2 видно, что основное количество белков ингибитора из рисовой половины (около 85%) представлено низкомолекулярными фракциями. Эти же фракции составляют большую часть водорастворимых белков и пептидов в ингибиторе из картофеля. Так, количество фракций с молекулярной массой от менее 5 до 25,8 составляет до 97,5% от общего количества водорастворимых белков и пептидов.

На основе предварительно проведенных экспериментов полученные ингибиторы растительного происхождения предложено было внести в посольную смесь, используемую при производстве пресервов специального посола.

Посол сардины тихоокеанской (иваси) осуществляли следующим образом. Сырье размораживали при комнатной температуре, промывали в проточной воде, далее отправляли на стекание. Одновременно готовили посольную смесь из расчета 55 г посольной смеси на 1 кг рыбы (из них 50 г поваренной соли, 5 г сахара, 0,1 г БКН). Рыбу перемешивали с посольной смесью и укладывали в полимерную тару емкостью 1300 мл. Заливали тузлуком плотностью 1120, предварительно в нем растворяли 12,5 г ингибитора (картофельного, рисового).

В дальнейшем для определения качественных характеристик полуфабриката и соленой продукции был проведен комплекс исследований физико-химических, биохимических показателей в течение 6-месячного периода хранения. Их определяли через каждые 1,5 мес., что позволило проследить динамику формирования качества по основным параметрам.

Динамика показателя буферности, характеризующего уровень биохимических изменений образцов соленой рыбе в хранении, представлена на рисунке.

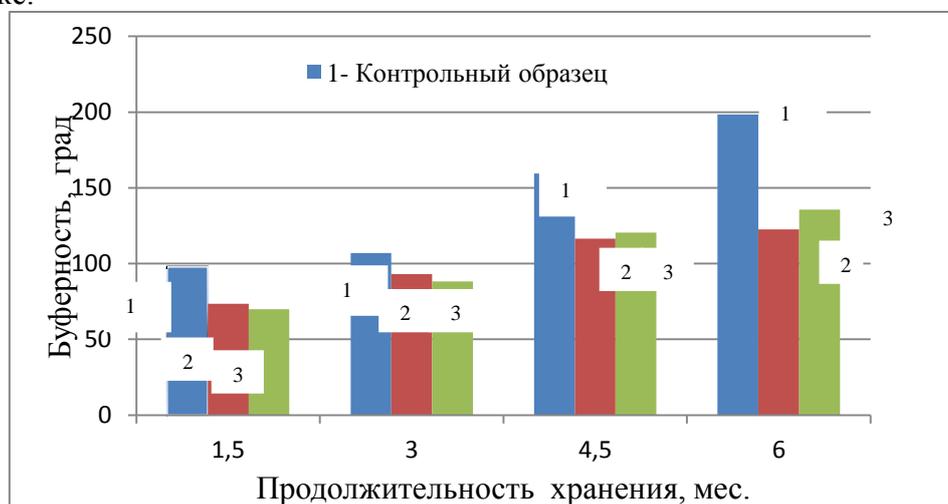


Рис. Динамика показателя буферности соленой продукции из сардины тихоокеанской (иваси), град

Fig. Dynamics of the buffer state of salted products from the Pacific sardine (Ivasi), deg

Как видно из представленных данных, значения буферности образцов, полученных при посоле с применением белковых ингибиторов, картофельного и рисового, заметно отличаются в меньшую сторону от остальных. На шестом

месяце хранения образцы соленой рыбы характеризовались биохимическими показателями, характерными для стадии «активного дозревания», тогда как для образцов, изготовленных без добавления ингибиторов, установлен уровень буферности, соответствующий для «перезревшей» рыбы.

Сравнительная характеристика протеолитических изменений в соленой продукции из сардины тихоокеанской приведена в табл. 3.

Таблица 3. Показатели протеолиза соленой продукции из сардины тихоокеанской в течение хранения ($N_{нб}/N_{об}$), %

Table 3. Proteolysis indices of salted products from the Pacific sardine during storage (N_{np}/N_{rp}), %

Образец	Время хранения, мес.			
	1,5	3	4,5	6
Контрольный	5,7	11,0	15,0	23,7
С картофельным ингибитором	7,2	7,1	10,4	11,2
С рисовым ингибитором	8,6	7,1	12,7	14,9

Результаты табл. 3 показывают, что в первый период хранения процесс протеолиза происходит почти независимо от внесенных добавок. После трех месяцев хранения можно наблюдать, что ингибиторы растительного происхождения начинают оказывать стабилизирующий эффект в отношении протеолитических ферментов, и с увеличением продолжительности хранения этот эффект носит все более выраженный характер. Замедление протеолиза миофибриллярных белков позволяет сохранять целостность рыбы на всем протяжении хранения за счет того, что ингибиторы существенно влияют на сохранность миофибрилл мышечной ткани, ограничивая их протеолиз ферментами пищеварительных органов [3].

ВЫВОДЫ

Осуществлена экспериментальная работа по исследованию молекулярно-массового состава ингибиторов протеолиза, примененных в технологии пресервов. Результаты исследования состава двух партий ингибиторов, полученных из картофеля и рисовой полеры, показали сходство этих партий по относительному количеству низкомолекулярных белковых и пептидных компонентов.

Изучение качественных характеристик пресервов из сардины тихоокеанской (иваси) свидетельствует о способности ингибиторов растительного происхождения оказывать тормозящий эффект в отношении разрушения белковых молекул, что позволяет рекомендовать полученные ингибиторы при производстве пищевой продукции из рыбного сырья, в том числе пресервов из сардины тихоокеанской (иваси).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сардина (иваси) и скумбрия на горизонте / А. П. Ярочкин [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. - № 6. – С. 78-82.

2. 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.
3. Виняр, Т. Н. Активность протеиназ соленой неразделанной сельди иваси и ультраструктура ее тканей / Т. Н. Виняр, Э. Н. Костина, Т. Н. Слуцкая // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 1992. – Т. 114. – С. 38 - 47.
4. Технологическая характеристика мороженой сардины тихоокеанской как сырья в технологии соленой продукции / С. Н. Максимова [и др.] // Известия КГТУ. – 2017. - № 46. – С. 81-89.
5. Слуцкая, Т. Н. Торможение протеолиза в пресервах из сельди иваси и тихоокеанской сельди / Т. Н. Слуцкая, Н. И. Миленина, С. В. Синюкова // Рыбное хозяйство. – 1991. – № 7. – С. 75 - 78.
6. Подавление активности протеиназ из внутренних органов рыб природными ингибиторами протеолитических ферментов / Т. Н. Слуцкая [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 1991. Т.27. – С. 529-532.
7. Теоретические и практические аспекты применения биологически активных регуляторов протеолиза в технологии рыбных продуктов // Т. Н. Слуцкая [и др.] // Технология переработки гидробионтов: междунар. конф. – 1994. – С. 147-149.

REFERENCES

1. 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.
2. Antipova L.V., Panichkin D.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya rybnogo syr'ja v produktah dlja funkcional'nogo pitaniya [Uses of fish raw material in products for functional nutrition]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja Tehnologija*, 2009, no. 1, pp. 25-27.
3. Vinyar T.N., Kostina E.N., Slutsкая T.N. Aktivnost' proteinaz solenoy nerazdelannoy sel'di ivasi i ul'trastruktura ee tkaney [Activity of proteinases of whole salted herring and ultrastructure of its tissues]. *Izvestiya Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva i okeanografii*, 1992, vol.114, pp. 38-47.
4. Maksimova S.N., Slutsкая T.N., Poleshchuk D.V., Ponomarenko S.Yu. Tekhnologicheskaya kharakteristika morozhenoy sardiny tikhookeanskoy kak syr'ya v tekhnologii solenoy produktsii [Technological characteristics of frozen Pacific sardine of as a raw material in salted products technology]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 46, pp. 81-89.
5. Slutsкая T.N., Milenina N.I., Sinyukova S.V. Tormozhenie proteoliza v preservakh iz sel'di ivasi i tikhookeanskoy sel'di [Inhibition of proteolysis in preserves from Ivasi herring and Pacific herring]. *Rybnoe hozjajstvo*, 1991, no. 7, pp. 75-78.
6. Slutsкая T.N., Milenina N.I., Romashkin V.I., Mosolov V.V. Podavlenie aktivnosti proteinaz iz vnutrennikh organov ryb prirodnymi ingibitorami proteolicheskikh fermentov [Suppression of the activity of proteinases from the internal organs of fish by natural inhibitors of proteolytic enzymes]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1991, vol. 27, pp. 529-532.

7. Slutskaya T.N., Mileniia N.I., Logacheva O.V., Vinyar T.N. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty primeneniya biologicheskii aktivnykh regulyatorov proteoliza v tekhnologii rybnnykh produktov [Theoretical and practical aspects of application of biologically active regulators of proteolysis in fish products technology]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Tekhnologiya pererabotki gidrobiontov"* [International conferences "Technology of Processing Hydrobionts"]. 1994, pp. 147-149.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Maksimova Svetlana Nikolaevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); Doctor of Engineering, 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 in Engineering, Associated 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

Полещук Виктория Игоревна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток); аспирант кафедры «Технология продуктов питания»; E-mail: vichka.babiy.93@mail.ru

Poleschuk Viktoriya Igorevna – Far Eastern state technical fisheries university (Vladivostok); postgraduate student of the department of food products technology; E-mail: vichka.babiy.93@mail.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 635.928:635.052

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ТРАВΟΣМЕСИ И НОРМЫ ВЫСЕВА
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕРНОВОГО ПОКРЫТИЯ В УСЛОВИЯХ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

О. М. Бедарева, Т. Н. Троян, Л. С. Мурачёва, Е. Г. Кравцов

SELECTION OF OPTIMAL COMPOSITION OF MIXTURES AND SEEDING
RATES FOR ESTABLISHMENT OF SOD COVER IN THE NORTH-WEST
REGION

O. M. Bedareva, T. N. Troyan, L. S. Murachyova, E. G. Kravtsov

В статье приведены результаты изучения подбора оптимального состава травосмесей на дерново-подзолистых почвах. Опытным путем найдены оптимальное участие видов для создания газона общего назначения и их нормы высева.

При создании объектов озеленения предпочтение отдается традиционным травосмесям, состоящим из мятлика лугового, овсяницы красной и луговой, райграса пастбищного, что соответствует зональным, подзональным условиям произрастания многолетних трав из семейства злаковых. При создании газонов рекомендуется использовать аборигенные виды и сорта, прошедшие период адаптации и акклиматизации.

Для создания дернового покрытия перспективными являются виды овсяницы красной и мятлика лугового, появляясь рано весной, они остаются зелеными до поздней осени. Для быстрого задернения участка предпочтительна травосмесь с участием райграса пастбищного, так как он в значительной степени отвечает необходимым качествам: первым появляется на газоне в год посева, создавая сомкнутый зеленый покров в короткие сроки, хорошо переносит зимние заморозки и сохраняет высокий процент проективного покрытия. По густоте травостоя лидирует овсяница красная, обладающая наибольшей декоративностью. На второй год жизни трав мятлик и овсяница дают большее число всходов на газоне с участием райграса.

Мощность дернины является одной из основных характеристик газонного покрытия. Прочность дерна определяется по степени переплетения корней, корневищ трав. Травосмесь с участием мятлика лугового и овсяницы красной сформировали прочный дерн на второй год жизни трав.

благоустройство, газон, злаки, травосмесь, норма высева, плотность дернины

The article presents the results of a study of the optimal composition of the mixtures on sod-podzolic soils. Empirically found the optimal part of species for creating lawns, general purpose and their seeding rates.

When you create green space preference is given to traditional grass mixture consisting of bluegrass, red fescue and meadow, perennial ryegrass, which corresponds to the zonal under-zone growing conditions, perennial grasses of the family Gramineae. When creating a lawn it is recommended to use native species and varieties have passed the period of adaptation and acclimatization.

To create a sod cover promising are the types of red fescue and bluegrass, appearing in early spring, they remain green until late autumn. For fast turfing area preferred mixture with the participation of perennial ryegrass, as it largely meets the necessary qualities: first appears on the lawn in the year of sowing, creating a closed green cover in the short term, it tolerates winter frosts and retains a high percentage of projective cover. On density of grass red fescue is the leader with the highest decoration. In the second year of life grass bluegrass and fescue to give a greater number of seedlings on the lawn with the participation of ryegrass.

Power turf is one of the main characteristics of the turf surface. The strength of the turf was determined by the degree of intertwining roots, rhizomes herbs. The mixture involving bluegrass and red fescue formed a strong turf in the second year of life herbs.

landscaping, lawn, grass, mixture, seeding rate, density of turf

ВВЕДЕНИЕ

Благоустройство озелененных территорий позволяет рационализировать их использование в условиях городской среды. Внедрение газонов как объекта озеленения направлено на снижение экологических рисков и увеличение ценности рекреационных территорий. Участие такой формы озеленения компенсирует условия деградации городских экосистем, а также вносит вклад в повышение качества жизни и состояние безопасности людей.

В настоящее время доля газонных покрытий при благоустройстве и оптимизации урбосреды значительно увеличилась. Газон – способ благоустройства территорий, выполненный из злаковых или почвопокровных растений, он является основным фоном для древесных кустарниковых и цветочных насаждений [1]. Газон разнообразит и усиливает тональность окраски деревьев, кустарников и цветников и уравнивает цветное разнообразие насаждений. Как правило, газоны удивительно привлекательны, гармонируют с окружающим ландшафтом. Образующая дернина закрепляет почву, задерживает пыль, повышает влажность воздуха, улучшает микроклимат участка.

Одним из методов ускорения формирования травянистых покрытий является подбор быстрорастущих травосмесей. Качество газонного покрытия во многом определяется видами и сортами многолетних трав [2, 3]. Для создания газонных покрытий используют различные виды семейства злаковых (*Poaceae*). Плотное дерновое покрытие формируют низовые виды злаков, однако они медленно растут, что не всегда позволяет быстро достичь максимального проективного покрытия [4, 5].

Цель статьи: определение оптимальных состава травосмеси и нормы высева для создания качественного дернового покрытия в условиях Калининградской области. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: проведена диагностика почв; осуществлена закладка полевых опытов в

плане оценки морфометрических и декоративных показателей испытуемых видов.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили перспективные газонные злаки: мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.). В качестве испытуемых травосмесей предложены следующие варианты:

1. Мятлик луговой (50) + Овсяница красная (50);
2. Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Райграс пастбищный (20);
3. Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Овсяница луговая (20).

Нормы высева для закладки опыта были взяты как рекомендованные оптимальная и максимальная: для мятлика лугового – 60 и 80, для овсяницы красной – 140 и 190, для райграса пастбищного – 170 и 220, для овсяницы луговой – 140 и 200 кг/га.

Сравнительный анализ искусственно созданных травосмесей проводился в условиях полевого опыта в трёх вариантах и двух повторностях с систематическим размещением.

Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая с низким содержанием гумуса, кислая рН 4,1, среднеобеспеченная по фосфору и калию.

При определении норм высева семян отдельных видов газонных трав на единицу площади целесообразно учитывать не только их размер, которым определяется хозяйственная годность и энергия прорастания, но и фитоценотическая активность данного вида в сложных газонных культурфитоценозах (биотип по темпу развития в онтогенезе, характер побегообразования, энергия кущения). На основании определенной фитоценотической активности отдельных видов производилось уточнение площади, установленной на одно всхожее семя; при этом учитывалось, что полевая всхожесть семян луговых трав составляет в среднем 52-57 % от лабораторной. От проростков до кущения достигает развития не более 60-70 % особей.

Определение процентного участия видов в травосмеси рассчитывалось по А. А. Лаптеву [6]. В ходе исследований были проведены следующие наблюдения, учёты, анализы: динамика появления всходов, проективное покрытие оценивалось методом глазомерной оценки, число всходов на момент начала кущения, густота стояния растений (путем подсчета особей на площадках 20×20 см); ботанический состав надземной фитомассы (устанавливали после второго укоса); общая декоративность газонного травостоя оценивалась по пятибалльной шкале [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Темпы появления всходов, их дружность и одновременность зачастую определяют качество газона, его устойчивость к внедрению сорных растений. Поэтому важно учитывать особенности развития каждого газонного вида трав в травосмеси от момента посева до смыкания (табл. 1).

Таблица 1. Число всходов в травосмесях в зависимости от нормы высева на момент начала кущения, шт. /см²

Table 1. The number of seedlings in mixtures depending on the seeding at the start of tillering, ind. /cm²

Вариант	Мятлик луговой	Овсяница красная	Овсяница луговая	Райграс пастбищный
1	$\frac{21,22}{25,0}$	$\frac{54,21}{65,45}$	-	
2	$\frac{21,33}{40,20}$	$\frac{33,11}{50,85}$	-	$\frac{19,21}{34,20}$
3	$\frac{10,82}{24,94}$	$\frac{28,63}{49,60}$	$\frac{22,10}{38,31}$	-

Примечание: в числителе – при оптимальной норме высева, в знаменателе – при максимальной норме высева.

Анализ табл. 1 показал, что число всходов видов повышается пропорционально повышению нормы высева. Однако стоит отметить, что число всходов райграса при максимальной норме почти в двое больше, чем при оптимальной. Количество растений овсяницы красной и овсяницы луговой увеличивается на 20 % при максимальной норме высева по сравнению с оптимальной, тогда как количество растений мятлика увеличивалось менее чем на 10 % при увеличении нормы высева.

Так как подсчет производился на момент начала кущения, то можно порекомендовать в случае необходимости быстрого задернения и зеленения участка применять максимальные нормы высева для овсяницы красной, овсяницы луговой и райграса пастбищного и среднюю (оптимальную) норму для мятлика лугового. Число растений мятлика при максимальной норме высева по сравнению со средней увеличивается на 8, овсяницы на 7 %. Таким образом, для быстрого задернения участка можно рекомендовать посев овсяницы красной с нормой высева 140 и мятлика лугового – 60 кг/га.

Несмотря на то, что участие овсяницы красной в травосмесях 2 и 3 было меньшим, чем в травосмеси 1, число всходов различалось незначительно. Еще нагляднее участие мятлика в этих травосмесях. При оптимальной норме высева число всходов в травосмесях 2 и 3, где его присутствие составило 40 %, было большим, чем в травосмеси 1, где его доля составляла 50 %. Предполагаем, что указанные явления можно отнести на счет агрессивности мятлика и овсяницы. Таким образом, при достижении физиологической и морфологической зрелости эти злаки начнут вытеснять из травостоя райграс и овсяницу луговую. В случае с мятликом, кроме того, положительное значение имеет заниженная норма высева, при которой каждое растение получает большую площадь питания и на второй год дает большее число побегов. Очевидно, что в травосмеси 1 идет повышение числа растений при переходе от оптимальной к максимальной норме высева лишь на 10 %. В травосмеси 2 число растений при переходе от оптимальной нормы высева к максимальной возросло на 20 % по сравнению со средней. Травосмесь с использованием овсяницы луговой при тех же условиях увеличилась примерно на 25 % (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика морфометрических параметров травосмесей в фазу кущения

Table 2. Characteristics of morphometric parameters of the mixtures in the phase of tillering

Вариант	Травосмесь (% участия видов)	Общее число всходов на учетной площади	Проективное покрытие		Характер сложения (сомкнутости) травостоя	Ботанический состав травосмесей, %
			%	балл		
		первый год жизни трав			второй год жизни трав	
<i>Оптимальная норма высева</i>						
1	Мятлик луговой (50) + Овсяница красная (50)	75,43±0,3	70	4	Сомкнуто-мозаичное	<u>59,6</u> 40,4
2	Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Райграс пастбищный (20)	73,6±0,5	95	5	Сомкнуто-диффузное	<u>31,2</u> <u>30,1</u> 38,7
3	Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Овсяница луговая (20)	61,5±0,5	85	5	Сомкнуто-диффузное	<u>25,3</u> <u>24,9</u> 49,8
<i>Максимальная норма высева</i>						
1	Мятлик луговой (50) + Овсяница красная (50)	90,4±0,5	65	3	Мозаично-групповое	<u>54,9</u> 45,1
2	Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Райграс пастбищный (20)	125,2±0,5	80	4	Сомкнуто-мозаичное	<u>24,9</u> <u>25,0</u> 50,1
3	Мятлик луговой (40) + Овсяница красная (40) + Овсяница луговая (20)	112,8±0,5	75	4	Раздельно-групповое	<u>25,3</u> <u>24,6</u> 50,1

При использовании травосмеси 1 целесообразно применять среднюю норму высева, так как при дальнейшем ее увеличении число всходов изменяется не столь значительно, а в случае со смесями 2 и 3 – максимальную норму высева. Кроме того, для более быстрого задернения участка травосмесь с участием райграса предпочтительней, так как число растений при максимальной норме высева увеличивается на 26 % по сравнению с использованием травосмесей 1 и 3. Он рано появляется на газоне в год посева, создавая сомкнутый зеленый покров в короткие сроки.

В травосмеси 1 при оптимальной и максимальной нормах высева количество всходов увеличивалось очень быстро, затем темп прироста заметно снижается и к моменту кущения количество всходов изменяется незначительно. В травосмесях 2 и 3 вначале число всходов изменялось не очень быстро, затем идет резкий скачок, а ближе к началу кущения темп прироста вновь ослабевает.

Доля участия конкретных видов трав в сложении растительных сообществ характеризуется их конкурентной способностью и определяет качество газона.

Анализ фитоценотической активности показал, что райграсс пастбищный обладает большей конкурентной способностью по сравнению с овсяницей луговой, что объясняется его быстрым темпом развития, экологической пластичностью. Выявлено, что доминирование райграсса, а за ним овсяницы луговой носит временный характер (они относятся ко II группе качества по комплексу показателей жизнестойкости популяций в газонном травостое), который длится в течение одного-двух вегетационных периодов. Затем положение доминантов займут медленно растущие и развивающиеся, но более долговечные газонные злаки – овсяница красная, мятлик луговой, которые относятся к I группе качества.

По результатам исследования выявлено, что при увеличении нормы высева доля участия каждого вида возрастает: лидирует райграсс пастбищный при максимальной норме высева, за ним следует овсяница луговая.

Доля участия овсяницы красной и мятлика лугового в травосмесях оказалась меньшей. Выявлено, что на второй год жизни они заняли в данных травосмесях лидирующее положение, вытеснив райграсс и овсяницу луговую, причем первым из травосмесей выпадает овсяница луговая. По сравнению с другими видами она обладает меньшей конкурентной способностью, а также отрицательно реагирует на низкие температуры и другие экологические факторы.

Важной характеристикой газонов, создаваемых на территории городов, населенных пунктов является общая декоративность травостоев. Она декоративность варьировала в узких пределах от трех до пяти баллов, и в большей степени определялась составом травосмеси и нормой высева. Причем в травостое I разница между показателями очень незначительная, следовательно, можно рекомендовать среднюю норму высева для данных видов злаков. В остальных травосмесях разница выше, здесь возможно применение максимальной нормы высева.

ВЫВОДЫ

1. Природно-климатические условия Калининградской области оптимальны для выращивания газонных трав, что, в принципе, соответствует зональному положению региона. Растения ранних сроков осеннего посева достаточно обеспечены корневищами, хорошо переносят динамику изменения температур зимой и весной.

2. По комплексу морфометрических параметров и декоративности из злаков газонного назначения оптимальными видами для создания дернового покрытия являются овсяница красная и мятлик луговой.

3. По густоте травостоя лидирует овсяница красная, далее следует мятлик луговой. Благодаря своим биологическим особенностям в травосмеси с овсяницей красной, он образует и устойчиво сохраняет травянистые покрытия высокого качества с густым интенсивно-зеленым травостоем и прочной дерниной.

4. Посев райграсса и овсяницы луговой следует считать целесообразным при необходимости раннего зеленения газона.

5. При использовании травосмеси с мятликом луговым и овсяницей красной целесообразно применять среднюю норму высева злаков (для мятлика лугового – 60, для овсяницы красной – 140 кг/га), так как при дальнейшем ее увеличении число всходов изменяется незначительно, а в случае использования райграса пастбищного в комплексе с овсяницей луговой – максимальную норму высева всех злаков, соответственно: мятлик луговой – 80, овсяница красная – 190, райграс пастбищный – 220, овсяница луговая – 200 кг/га.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рындин, В. А. Состояние и особенности ухода за газонными покрытиями в зоне влажных субтропиков России / В. А. Рындин [и др.] // Кормопроизводство. – 2016. – № 7. – С. 11-16.
2. Прудников, А. Д. Сравнительная оценка травосмесей при их использовании для создания газонных покрытий различными способами / А. Д. Прудников, П. В. Тюликов // Кормопроизводство. – 2016. – № 10. – С. 13-16.
3. Jones M.B., Lazenby A., editors. The grass crop. The physiological basic of production. London, New York, 1988. – 369 p.
4. Лепкович, И. П. Газоны / И. П. Лепкович. – Санкт-Петербург: ДИЛЯ, 2003. – С. 224.
5. Morisson J. The Hamlyn Encyclopedia of Golf. – The Hamlyn Publ. Group Ltd. Bridge House, London Roal, England, 1987. – 205p.
6. Лаптев, А. А. Газоны / А. А. Лаптев. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 174.
7. Газоноведение и озеленение населённых территорий: учебник / под ред. проф. В. А. Тюльдюкова. – Москва: КолосС, 2002. – С. 286.

REFERENCES

1. Ryndin V. A., Kelina A. V., Karpun N. N. Sostoyanie i osobennosti ukhoda za gazonnymi pokrytiyami v zone vlazhnykh subtropikov Rossii [The condition and features of the care of turf surfaces in the area of the humid subtropics of Russia]. *Kormoproizvodstvo*, 2016, no. 7, pp. 11-16.
2. Prudnikov A. D., Tyulikov P. V. Sravnitel'naya otsenka travosmesey pri ikh ispol'zovanii dlya sozdaniya gazonnykh pokrytiy razlichnymi sposobami [Comparative evaluation of the mixtures when they are used to create a lawn coverings in a variety of ways]. *Kormoproizvodstvo*, 2016, no. 10, pp. 13-16.
3. Jones M. B., Lazenby A., editors. The grass crop. The physiological basic of production. London, New York, 1988, 369 p.
4. Lepkovich I. P. *Gazony* [Lawn grass]. Saint-Petersburg, DILYa, 2003, 224 p.
5. Morisson J. The Hamlyn Encyclopedia of Golf. The Hamlyn Publ. Group Ltd. Bridge House, London Roal, England, 1987, 205 p.
6. Laptev A. A. *Gazony* [Lawn grass]. Kiev, Naukova dumka, 1983, 174 p.
7. Pod redaktsiey prof. Tyul'dyukova V. A. *Gazonovedenie i ozelenenie naseleennykh territoriy: uchebnik* [Gazenvagen and landscaping populated areas: text-book]. Moscow, KolosS, 2002, 286 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Bedareva Olga Mikhailovna – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Science, Assistant Professor; Managing Agropedology and agroecology chair; E-mail: olgabedareva@mail.ru.

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

Troyan Tatyana Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of 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 Semyonovna – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor; E-mail: muracheva.l@yandex.ru

Кравцов Евгений Григорьевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант

Kravtsov Evgeniy Grigorievich – Kaliningrad State Technical University; postgraduate student

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 629.436

ПРОЦЕСС САЖЕОБРАЗОВАНИЯ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ
И МЕТОДЫ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. Ю. Глазков

THE PROCESS OF SOOT FORMATION IN A DIESEL CYLINDER
AND METHODS OF ITS MODELING

D. Yu. Glazkov

Проведён анализ условий и механизма образования сажи в цилиндрах судовых дизелей. На основе литературных данных отмечено, что интенсивный прогрев топливоздушнoй среды в струе (после начала сгорания), сопровождается образованием сажи при недостатке воздуха. Рассмотрены методы моделирования процесса сажеобразования. На основе метода расчёта процесса сгорания, разработанного профессором В.И. Одинцовым, получено выражение для расчёта величины выбросов сажевых частиц.

судовые дизели, сажа, сажеобразование

The analysis of conditions and mechanism of soot formation in cylinders of marine diesel engines has been carried out. On the basis of the literature data, it is noted that intensive heating of the fuel-air medium in the jet (after the start of combustion) is accompanied by the formation of soot with lack of air. Modeling methods of soot formation process are examined. Based on the method of calculating the combustion process, developed by Professor Viktor Odintsov, an expression was obtained for the calculation of the emission of soot particles.

marine diesel engines, soot, soot formation

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в процессе сгорания топливо, поданное в цилиндр двигателя, сгорает не полностью. Полному (идеальному) сгоранию препятствует ряд факторов: ограниченность процессов смесеобразования и сгорания по времени, несовершенство процессов топливоподачи и распыливания, неравномерность концентрации кислорода и топлива и др. Так, при недостатке воздуха и высокой температуре воздушного заряда в цилиндре двигателя поданное топливо подвергается пиролизу с образованием продуктов неполного окисления: угарного газа, альдегидов, карбоновых кислот, сажи, различных тяжёлых углеводородов (в основном ароматических типа нафталина с большим числом сконденсированных колец и с кратными связями) [1, 2].

Сажа, по данным ряда исследований, например [1], имеет большую удельную поверхность, до 75-80 м²/г, что обуславливает её высокую абсорбирующую способность. Поэтому, оседая в газовыпускной системе двигателя, сажа впитывает как губка пары несгоревших углеводородов, образуя чёрные мазеобразные отложения [3]. С ростом температуры отработавших газов,

например, при увеличении нагрузки на двигатель, эти отложения склонны к воспламенению. В результате возгораний и пожаров в газовыпускной системе образуются трещины в цилиндрах [4], происходят разрушения турбонаддувочных агрегатов [3] и утилизационных котлов [5].

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ САЖИ

Процесс образования сажи при сгорании топлива условно разделяется [1] на три основные фазы: образование зародыша, рост зародыша в частице сажи, коагуляция первичных сажевых частиц. Скорость образования сажи определяется скоростью химических процессов, приводящих к возникновению зародыша (т. е. кинетикой процесса). Схема возможных механизмов (путей) образования сажи, согласно проф. Д. Д. Брозе [1], показана на рис. 1.

При относительно низких температурах (менее 1500 °K) преобладают реакции полимеризации и конденсации над реакциями дегидрогенизации. В этих условиях зародышами могут быть ароматические или полициклические соединения. При мгновенных температурах 2000-3500 °K [1, 6], соответствующих процессу сгорания в двигателях, происходит распад молекул.

Следует заметить [7], что чем выше молекулярная масса предельных и непредельных углеводородов с прямыми цепями, тем выше скорость образования сажевых частиц. При этом отложения хорошо растворяются в сероуглероде, что говорит о наличии ароматических колец и карбонильных групп.

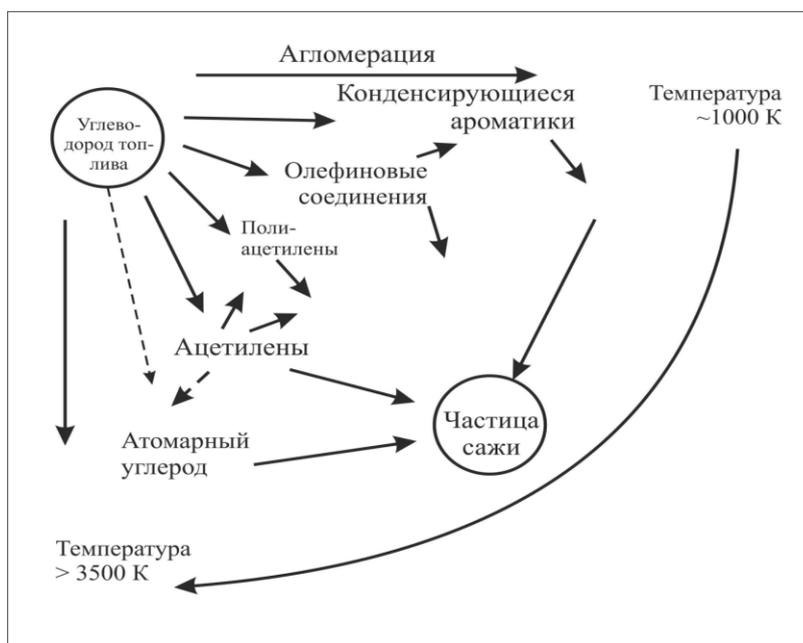


Рис. 1. Схема возможных механизмов образования сажи [1]

Fig. 1. Scheme of possible mechanisms of soot formation [1]

Рядом экспериментальных исследований [1, 6] установлены концентрации окислителя (коэффициент избытка воздуха при сгорании α), при которых начинается выделение сажи из пламени. Величина α зависит от многих факторов (температуры и давления рабочего тела, качества топлива, качества его

распыливания) и составляет 0,33-0,7. С увеличением температуры начало образования сажи сдвигается в сторону более богатых топливовоздушных смесей, а с увеличением давления – в сторону более бедных смесей.

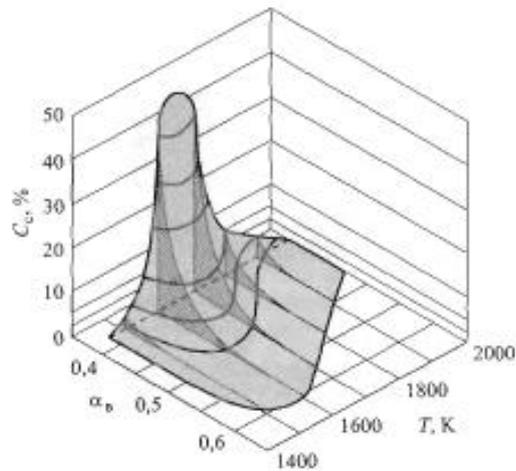


Рис. 2. Зависимость концентрации сажи от коэффициента избытка воздуха и температуры в цилиндре по данным Р.З. Кавтарадзе [6]

Fig. 2. Dependence of the concentration of soot on the coefficient of excess air and temperature in the cylinder according to R. Kavtaradze [6]

Параллельно с образованием сажевых частиц происходит их выгорание в реакциях с гидроксильными группами и кислородом. В дизелях в основном происходит прямое окисление сажи. Скорость выгорания сажи существенно зависит от размеров частиц (поверхности). Было определено [1], что имевшаяся в пламени сажа может выгореть только в том случае, если размеры частиц не будут превышать 100 \AA .

Как отмечает профессор Р.З. Кавтарадзе, в дизелях отмечается два максимума сгорания. Первый обусловлен взрывным сгоранием паров топлива (1), второй (2) – диффузионным сгоранием сажевых частиц [6], что показано на рис. 3.

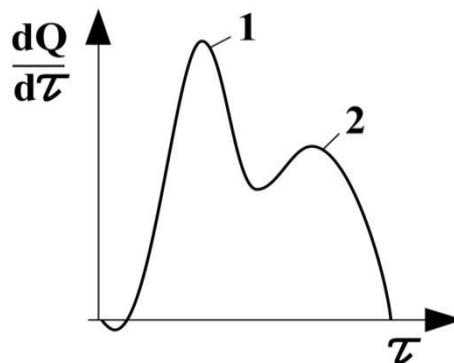


Рис. 3. Два максимума сгорания по Р.З. Кавтарадзе [6]

Fig. 3. Two combustion maxima according to R. Kavtaradze [6]

Исследования образования и выгорания сажи в цилиндре дизеля, выполненные методом спектрального анализа, показали, что сажа в основном выгорает в процессе расширения на участке догорания [6]. Таким образом, тепло, выделяющееся в результате сгорания сажи, используется недостаточно эффективно. Его эффективное использование возможно вне цилиндра: в турбине и утилизационном котле.

Процесс сажеобразования в дизелях зависит также и от способа смесеобразования. В двигателях с преимущественно струйным (объёмным) смесеобразованием топливо подаётся в цилиндр в виде струй, содержащих около 10^7 капель [8] с диаметрами от 1 мкм до 0,3 мм и более. Причём их максимальный диаметр соответствует диаметру соплового отверстия [9]. Согласно многочисленным исследованиям, например [10], пламя распространяется по наружной поверхности топливных струй и в течение короткого интервала времени (около 0,6 мс) охватывает всю их поверхность, включая головную часть. Следовательно, поверхность топливных струй является границей, через которую осуществляется тепломассообмен.

Таким образом, в качестве показателя, характеризующего качество распыливания топлива, можно применить относительную поверхность топливного конуса [11]:

$$K_{p\Sigma} = F_{f\Sigma} / g_{ц}, \quad (1)$$

где $F_{f\Sigma}$ – суммарная поверхность топливного конуса; $g_{ц}$ – величина цикловой подачи топлива.

С ростом величины цикловой подачи увеличивается, естественно, и дальнобойность топливных струй. Поэтому в ряде двигателей с преимущественно объёмным способом смесеобразования на режимах, близких к полной нагрузке, часть цикловой подачи топлива попадает на стенки камеры сгорания. К объёмному механизму смесеобразования подключается плёночный. Но в отличие от двигателей с преимущественно плёночным смесеобразованием испарение топлива происходит в худших условиях, с относительно холодных поверхностей. Это обстоятельство вызывает рост эмиссии сажи [7].

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ САЖИ

Метод Н.Ф. Разлейцева основан на теории испарения распыленного жидкого топлива и теории цепных химических реакций [1, 2].

В методе выделяются два возможных пути образования сажевых частиц:

1. В результате цепной деструкции молекул топлива, диффундирующих из капли топлива к фронту пламени;
2. Вследствие полимеризации и дегидрирования парожидкостного ядра капель.

При движении паров топлива от поверхности струи до фронта пламени происходит их практически мгновенное нагревание до критической температуры 700-750 °К [10]. В начальной стадии процесса происходит пиролиз молекул топлива с образованием свободных радикалов, углубляющих дальнейший распад молекул, в результате чего образуются сильно дегидрированные углеводороды,

простейшим представителем которых является ацетилен. Достигнув зоны горения, где наблюдаются высокие температуры (2000...2500 °К) и недостаток кислорода, образовавшиеся углеводороды окисляются полностью и частично и дегидрируются с образованием ароматических сажевых ядер с общей формулой C_6H .

Вследствие ограниченности скорости диффузии капля не испаряется мгновенно, поэтому в её ядре интенсивно протекают процессы полимеризации и поликонденсации углеводородов. Таким образом, в результате испарения и неполного сгорания капли топлива на её месте остаётся сажевая частица.

Изменение концентрации сажи в объёме цилиндра профессор Н. Ф. Разлейцев [12] предлагает учитывать уравнением:

$$d[C]/d\tau = (d[C]/d\tau)_k + (d[C]/d\tau)_п - (d[C]/d\tau)_в - (d[C]/d\tau)_v, \quad (2)$$

где первое слагаемое описывает формирование сажи в пламени, второе – вследствие полимеризации, третье – выгорание сажи, а четвёртое – изменение текущего объёма цилиндра в течение процесса сгорания.

Скорость сажеобразования в зоне горения Н. Ф. Разлейцев принимает пропорциональной скорости побочных ответвлений основных химических цепей:

$$(d[C]/d\tau)_k = B1 G_{ц} / V (dx/d\tau), \quad (3)$$

где $B1$ – эмпирический коэффициент; $G_{ц}$ и V – цикловая подача топлива и объём цилиндра соответственно; $(dx/d\tau)$ – скорость тепловыделения.

Формирование сажи вследствие полимеризации описывает уравнение:

$$(d[C]/d\tau)_п = B2 \delta G_{ц} / V (dS/d\tau), \quad (4)$$

где $B2$ – эмпирический коэффициент; δ – доля массы капли, превращающаяся в сажевое ядро; S – доля капель с диаметром меньше d_k (закон Срезневского).

Для выгорания сажи предлагается следующее выражение:

$$(d[C]/d\tau)_в = B3 n^{0.5} p [C], \quad (5)$$

где n – обороты коленчатого вала; p – давление в цилиндре; $[C]$ – текущая концентрация сажи в цилиндре.

Уменьшение концентрации сажи за счёт увеличения текущего объёма цилиндра описывается выражением:

$$(d[C]/d\tau)_v = B4 [C] 6n ((dV/d\phi) / V), \quad (6)$$

где $B4$ – эмпирический коэффициент, учитывающий возможное превышение скорости изменения объёма цилиндра над скоростью изменения локальной концентрации сажи.

Метод, разработанный профессором В. И. Одинцовым [11], основан на сравнении исследуемого или проектируемого ДВС с эталонным, для которого показатели рабочего процесса и конструктивные характеристики известны. Данный метод также может быть использован для исследования режимов работы двигателя, отличных от эксплуатационного, а также для моделирования перевода двигателя на другой сорт топлива.

Закон сгорания по В. И. Одинцову описывается экспоненциальной функцией:

$$x = 1 - \exp(-BCDEK^{0.2} (\tau/\tau_z)^{m+1}), \quad (7)$$

где m – эмпирический показатель.

$$B = \left(\frac{\mu_{сн}}{\mu_{сэ}} \right)^{1,42} \cdot \left(\frac{d_{сн}}{d_{сэ}} \right)^{1,05} \cdot \left(\frac{P_{fn} - P_{ин}}{P_{fэ} - P_{иэ}} \right)^{0,71} \cdot \left(\frac{\rho_{Гн}}{\rho_{Гэ}} \right)^{1,05} \cdot \left(\frac{\sigma_{э}}{\sigma_{н}} \right)^{0,37} \left(\frac{\mu_{н}}{\mu_{э}} \right)^{0,32} \frac{P_{иэ}}{P_{ин}} \frac{T_{ин}}{T_{иэ}} \frac{J_{сн}}{J_{сэ}} \frac{g_{иэ}}{g_{ин}}; \quad (8)$$

$$C = \frac{\operatorname{tg}\gamma_n(1/\cos\gamma_n + \operatorname{tg}\gamma_n)}{\operatorname{tg}\gamma_3(1/\cos\gamma_3 + \operatorname{tg}\gamma_3)}; \quad (9)$$

$$D = \frac{\tau_{инд.н} \tau_{енр.э}}{\tau_{инд.э} \tau_{енр.н}} \left(\frac{\tau_{Zн} - 0,5\tau_{енр.н}}{\tau_{Zэ} - 0,5\tau_{енр.э}} \right)^{1,6}; \quad (10)$$

$$E = 6,908 \frac{\alpha_{1н}}{\alpha_{1э}} \left(\frac{P_{сн} + P_{maxн}}{P_{сэ} + P_{maxэ}} \right)^{0,5}. \quad (11)$$

Таким образом, для расчёта процесса тепловыделения, согласно проф. В.И. Одинцову, следует вычислить показатели В, С, D, E, где параметры проектируемого (исследуемого) ДВС сравниваются с эталонным, для которого параметры известны. Расчёт угла конуса топливной струи можно произвести, например, по методу проф. А.С. Лышевского [9].

На основании метода профессора В.И. Одинцова нами было предложено выражение для расчёта эмиссии сажи с отработавшими газами:

$$\frac{c_n}{c_3} = H \left(\frac{J_{сэ}}{J_{сн}} \right)^{0,4} \left(\frac{d_{сэ}}{d_{сн}} \right)^{0,8} \left(\frac{g_{цэ}}{g_{цн}} \right)^{-0,4} \left(\frac{P_{мэ}}{P_{мн}} \right)^{0,3} \left(\frac{C_э}{C_n} \right)^{0,08} \left(\frac{\alpha_э}{\alpha_n} \right)^{-0,08} \left(\frac{Q_{нэ}}{Q_{нр}} \right)^{-0,1}, \quad (12)$$

где $H = \left(\frac{\tau_{Zэ} n_э z_n}{\tau_{Zн} n_n z_э} \right)^{0,12}$ – критерий; J_c и d_c – число и диаметр сопловых отверстий распылителя; $g_{ц}$ – цикловая подача топлива; p_r – среднее давление топлива в процессе впрыска; α – коэффициент избытка воздуха при сгорании; C – геометрическая характеристика топливной струи (9); $Q_{нэ}^p$ и $Q_{нр}^p$ – теплотворные способности топлив.

Модели процессов сгорания и сажеобразования, принятые за рубежом, достаточно полно описаны в [13].

Феноменологическая 0-мерная модель (рис. 4) основана на том, что в любой момент процесса сгорания объём цилиндра состоит из двух зон: зоны сгорания и зоны, где сгорание отсутствует. Зона, где огонь отсутствует, содержит сухой воздух с парами топлива (н-гептан). Массообмен в каждой зоне определяется по уравнениям массообмена через клапаны, массопередачи между зонами и количеством впрыснутого топлива. Схема модели представлена на рис. 4.

Данная модель достаточно простая, но в ней имеются некоторые затруднения. В частности, затруднения вызывает расчёт массопередачи между зонами и учёт аэродинамического сопротивления клапанов.

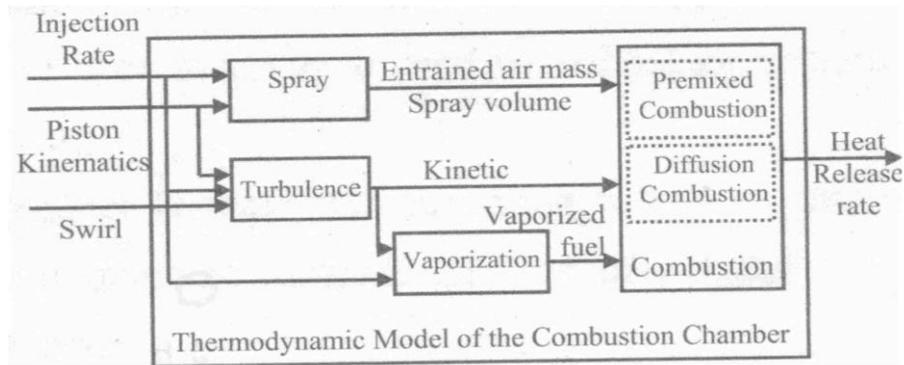


Рис. 4. Схема феноменологической 0-мерной модели
 Fig. 4. Scheme of the phenomenological 0-dimensional model

Впрысковая модель связывает геометрические характеристики топливной струи с формой топливного конуса. Модель была разработана Сиберсом (Siebers) [13]. В основу данной модели положена теория развития струи идеальной неиспаряющейся жидкости. Массопередача между струей топлива и окружающим её газом описывается следующим уравнением:

$$m'_{as} = \rho(V'_s - (V_{cyl} - V_s)m'_{cyl} / V_{cyl} - V_s V'_{cyl} / V_{cyl}) \quad (13)$$

где V_{cyl} и V_s – объёмы камеры сгорания и топливной струи, V'_s и V'_{cyl} – скорости изменения объёма цилиндра и топливной струи.

В данной модели, на наш взгляд, вызывает затруднение определение скорости изменения объёма топливной струи, поскольку данная величина зависит от многих факторов, учесть которые в полной мере проблематично. В остальном же данная модель учитывает, хоть и не в явном виде, многие конструктивные и эксплуатационные факторы (параметры топливоподачи, характеристики распылителя и состояние воздушного заряда при впрыске через V_s и V'_s).

Модель двухстадийной турбулентности (К-К- модель) разработана Chemla и Orthaber [14]. В основе модели лежит предположение, что основное влияние на процесс перемешивания и сгорания оказывает кинетическая энергия впрыскиваемого топлива и вихреобразование в цилиндре. В объёме камеры сгорания сначала в процессе продувки камеры сгорания образуется вихревой поток, который после начала впрыска рассеивает энергию, деформируя топливную струю. В объёме топливной струи кинетическая энергия топливоподачи образует турбулентность в большом объёме, затем передаётся в малые объёмы и рассеивается за счёт вязкостного трения.

Расчёт ведётся на основании закона сохранения энергии:

$$\frac{dK_{cyl}}{dt} = C_{int}(m'_{int} v_{int}^2 / 2) + C_{exh}(m'_{exh} v_{exh}^2 / 2) + \frac{dK_{swirl}}{dt} - \left(\frac{dK_{cyl}}{dt}\right)_{diss} + K_{cyl} \frac{m'_{exh}}{m}, \quad (14)$$

где K – кинетическая энергия; C – опытные коэффициенты; индекс “diss” значит «Рассеивание».

В данное уравнение, помимо опытных коэффициентов, входят: кинетическая энергия вихревого движения, скорости воздуха на входе в цилиндр и выпускных газов на выходе из него. Определение данных величин, особенно энергии вихря, вызывает большие трудности.

Модель диффузионного горения. Данная модель разработана Barba и Mauviot [13]. В основу модели положены статистические методы. В частности, для определения среднего количества смеси используется гамма-функция:

$$\langle Z \rangle = \frac{\gamma Y_{fs} + Y_{o2s} + Y_{o2anm}}{\gamma + Y_{o2anm}} \quad (15)$$

где Y_{fs} – массовая концентрация топлива в объёме струи; Y_{o2s} – массовая концентрация кислорода в струе топлива; Y_{o2anm} – концентрация кислорода в объёме камеры сгорания.

Данная модель достаточно проста, но содержит Y_{o2s} – массовую концентрацию кислорода в струе топлива. Данная величина трудна в определении, во многом условна, зависит от многих факторов, которые проблематично учесть, и непостоянна по длине и диаметру струи.

В основе метода Хироясу [15] содержание сажи определяется как разность между количеством образовавшейся и выгоревшей сажи:

$$dM_s/dt = dM_{sf}/dt - dM_{so}/dt \quad (16)$$

Первое слагаемое отвечает за образование сажи, а второе – за её выгорание.

Количество образовавшейся сажи определяется по уравнению Аррениуса:

$$dM_{sf}/dt = A_{sf} M_{sp} P^n \exp(-E_{sf}/(RT)) \quad (17)$$

В данном уравнении A_{sf} и n – эмпирические показатели; M_{sp} – масса топлива в цилиндре; P и T – давление и температура в цилиндре; R – универсальная газовая постоянная.

Окисление сажи определяется следующим образом:

$$dM_{so}/dt = 6MW_c M_s R_{tot} / (\rho_s D_s) \quad (18)$$

где M – масса воздуха в цилиндре; W_c – скорость поршня; D_s – диаметр топливной струи; ρ_s – её плотность.

По своей структуре метод Хироясу близок к методу Н.Ф. Разлейцева и обладает теми же достоинствами и недостатками.

Модель Мосса [16] базируется на упрощённых представлениях процессов нуклеации, коагуляции и окисления сажи, связывая объём фракции f_v и её относительную плотность n . Уравнение данного метода выглядит следующим образом:

$$d(\rho_s f_v)/dt = \gamma n + \delta - (36\pi/\rho_s)^{1/3} n^{1/3} (\rho_s f_v)^{2/3} R_{tot} \quad (19)$$

В данном уравнении γ и δ – коэффициенты роста поверхности и нуклеации, соответственно.

В явном виде в данной модели влияние каких-либо эксплуатационных и (или) конструктивных факторов на образование сажи не просматривается.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе проведенного анализа следует, что:

1. Существующие методы моделирования можно разделить на геометрические, основанные на приближении экспериментально определённых законов сгорания топлива к тем или иным математическим зависимостям, и химические методы, определяющие концентрацию топлива и кислорода в цилиндре ДВС по углу поворота коленчатого вала и частично или полностью учитывающие влияние конструктивных особенностей и эксплуатационных факторов;
2. В методе профессора В. И. Одинцова учитывается максимум конструктивных и эксплуатационных факторов, характеризующих рабочий процесс ДВС;
3. На основании метода, предложенного В.И. Одинцовым, разработано выражение для расчёта эмиссии сажи с отработавшими газами двигателей с объёмным способом смесеобразования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Броне, Д. Д. Сгорание в поршневых двигателях / Д. Д. Броне. – Москва: Машиностроение, 1969. – 247 с.
2. Теория двигателей внутреннего сгорания / Н. Х. Дьяченко [и др.]; под ред. Н. Х. Дьяченко. – Ленинград: Машиностроение, 1974. – 552 с.
3. Межерицкий, А. Д. Турбокомпрессоры систем наддува судовых дизелей / А. Д. Межерицкий. – Ленинград: Судостроение, 1986. – 248 с.
4. Вахтенный машинный журнал т/х “Cape Navarin”.
5. Soot Deposits and Fires in Exhaust Gas Boiler. – www.manbw.com., 2005. – 25 p.
6. Кавтарадзе, Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учебник для вузов / Р. З. Кавтарадзе. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 719 с.
7. Одинцов, В. И. Некоторые закономерности образования сажи в цилиндрах судовых дизелей / В. И. Одинцов, Д. Ю. Глазков // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань, 2014. – № 3. – С. 83-87.
8. Лышевский, А. С. Распыливание топлива в судовых дизелях / А. С. Лышевский. – Ленинград: Судостроение, 1971. – 248 с.
9. Гафуров, Р. А. Исследование структуры дизельной топливной струи при циклическом впрыскивании методом импульсной голографии / Р. А. Гафуров, Г. А. Глебов, Ю. М. Скворцов // Двигателестроение. – 1996. – №3-4. – С. 10-12
10. Теоретические основы химмотологии / под ред. А. А. Браткова. – Москва: Химия, 1985. – 320 с.
11. Одинцов, В. И. Рабочий процесс судовых ДВС: моногр. / В. И. Одинцов. – Калининград: Изд-во БГА РФ, 2010. – 135 с.
12. Разлейцев, Н. Ф. Анализ и моделирование рабочего процесса ДВС / Н. Ф. Разлейцев. – Харьков: Вища школа, 1980. – 180 с.
13. Bordet N., Caillol C., Higelin P. “A Physical 0D Diesel Combustion Model Using Tabulated Chemistry with Presumed Probability Density Function

Approach: For engine pre-Mapping". Institut PRISME - University of Orleans, France. 2010

14. Chmela, F., Engelmayer, M., Pirker, G., Wimmer, A. "Prediction of turbulence controlled combustion in diesel engines", in: THIESEL 2004 Conference on Thermo- and Fluid dynamic Processes in Diesel Engines, 2004.

15. H. Hiroyasu, T. Kadota, M. Arai. Development and Use of a spray combustion Model to predict Diesel Engine efficiency Pollutant Emissions. Part 1[^] Combustion Modelling. *Bull JSME*, vol.26,(no214) pp. 569-575, 1983.

16. J. B. Moss, C.D. Steward, K. J. Young. Modelling soot formation and burnout in a high temperature laminar diffusion flame burning under oxygen-enriched combustion/ *Combustion and flame*, 1995. vol.101: pp.491-500,

REFERENCES

1. Broze D. D. *Sgoranie v porshnevnykh dvigatelyakh* [Combustion in piston engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1969, 247 p.

2. D'yachenko N. Kh., Kostin A. K., Pugachev B. P., Rusinov R. V., Mel'nikov G. V. *Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Theory of internal combustion engines] L., Mashinostroenie, 1974, 552 p.

3. Mezheritskiy A. D. *Turbokompressory sistem nadduva sudovykh dizeley* [Turbochargers of systems of pressurization of marine diesel engines]. L., Sudostroenie, 1986, 248 p.

4. *Vakhtenny mashinny zhurnal t/kh "Cape Navarin"* [The watch log of m / v "Cape Navarin"].

5. Soot Deposits and Fires in Exhaust Gas Boiler, 2005, 25 p. Available at: www.manbw.com.

6. Kavtaradze R. Z. *Teoriya porshnevnykh dvigateley. Spetsial'nye glavy: uchebnik dlya vuzov* [Theory of reciprocating engines. Special chapters: textbooks for universities]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2008, 719 p.

7. Odintsov V. I., Glazkov D. Yu. Nekotorye zakonomernosti obrazovaniya sazhi v tsilindrakh sudovykh dizeley [Some Regularities of Soot Production in Cylinders of Marine Diesels]. *Vestnik AGTU. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya. Astrakhan'*, 2014, no. 3, pp. 8 -87.

8. Lyshevskiy A. S. *Raspylivanie topliva v sudovykh dizelyakh* [Spraying of fuel in marine diesel engines]. L., Sudostroenie, 1971, 248 p.

9. Gafurov R. A., Glebov G. A., Skvortsov Yu. M. Issledovanie struktury dizel'noy toplivnoy strui pri tsiklicheskom vpryskivaniy metodom impul'snoy golografii [Investigation of the structure of a diesel fuel jet during cyclic injection by pulsed holography]. *Dvigatelistroenie*, 1996, no. 3-4, pp. 10-12.

10. *Teoreticheskie osnovy khimotologii* [Theoretical foundations of chemotherapy]. Moscow, Khimiya, 1985, 320 p.

11. Odintsov V. I. *Rabochiy protsess sudovykh DVS* [Working process of ship engines]. Kaliningrad, Izd-vo BGARF, 2010, 135 p.

12. Razleytsev N. F. *Analiz i modelirovanie rabocheho protsessa DVS* [Analysis and modeling of the ICE workflow]. Khar'kov, Vishcha shkola, 1980, 180 p.

13. Bordet N., Caillol C., Higelin P. A Physical 0D Diesel Combustion Model Using Tabulated Chemistry with Presumed Probability Density Function Approach: For engine pre-Mapping. Institut PRISME - University of Orleans, France. 2010.

14. Chmela F., Engelmayer M., Pirker G., Wimmer A. Prediction of turbulence controlled combustion in diesel engines, in: THIESEL 2004 Conference on Thermo- and Fluid dynamic Processes in Diesel Engines, 2004.

15. Hiroyasu H., Kadota T., Arai M. Development and Use of a spray combustion Model to predict Diesel Engine efficiency Pollutant Emissions. Part 1, Combustion Modelling. Bull JSME, 1983, vol. 26, no. 214, pp. 569-575.

16. Moss J. B., Steward C. D., Young K. J. Modelling soot formation and burnout in a high temperature laminar diffusion flame burning under oxygen-enriched combustion. Combustion and flame, 1995, vol. 101, pp. 491-500.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Глазков Дмитрий Юрьевич – Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; старший преподаватель кафедры «Судовые энергетические установки»; E-mail: 2338697@gmail.com

Glazkov Dmitry Yurievich – Baltic Fishing Fleet State Academy of Kaliningrad State Technical University; Senior lecturer of the Ship power plants department; E-mail: 2338697@gmail.com

УДК 629.5.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДНИХ РЫБОЛОВНЫХ
СУДОВ ДЛЯ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН

С. В. Дятченко, Е. О. Шишило

DETERMINATION OF THE BASIC ELEMENTS OF AVERAGE FISHING
VESSELS FOR EXCLUSIVE ECONOMIC ZONES

S. V. Dyatchenko, E. O. Shishilo

В настоящее время средние рыболовные суда составляют основную группу добывающего флота России и наиболее востребованы рыбопромышленными компаниями. Вместе с тем, рыбопромышленные компании несут существенные расходы при их эксплуатации, поскольку многие средние рыболовные суда морально и физически устарели, имеют низкие технико-экономические показатели и соответственно не отвечает современным требованиям рыночной экономики. Для быстрого решения проблемы – обновление флота, сформировался подход, когда для разработки нового проекта судна, проектная организация использует известный проект (прототип), который подвергает определенному виду модернизации по желанию заказчика. Такой подход в проектировании решает частные задачи и не позволяет создавать конкурентоспособные на мировом рынке суда. Для создания новых проектов конкурентоспособных судов необходимы: системный анализ основных элементов и характеристик известных проектов российских и зарубежных судов, анализ гидрометеорологических условий их эксплуатации, новые математические модели для проведения вариационных исследований важнейших характеристик судна и многокритериального технико-экономического анализа, а также современные программные продукты и модельные испытания. С учетом вышесказанного ФГБОУ ВО «КГТУ» приступил к разработке методического обеспечения для создания современных проектов рыболовных траулеров для исключительных экономических зон. Представленные в статье результаты исследований содержат статистические данные по проектам судов-аналогов создаваемого объекта, функциональные зависимости изменения их основных элементов, а также соотношений главных размерений, которые определяют граничные условия, необходимые при разработке технического задания и проведении вариационных исследований на ранних стадиях проектирования. В качестве объекта исследований выбраны рыболовные суда с расчетной длиной от 29,0-39,0 м. Целью исследований являлось определение функциональных зависимостей изменения: ширины, осадки, высоты борта и водоизмещения от расчетной длины судна, соотношения главных элементов, а также коэффициентов общей полноты и энерговооруженности от числа Фруда.

судостроение, рыболовные суда, исключительная экономическая зона, системный анализ, основные элементы судна, соотношения главных размерений

At present, medium-sized fishing vessels present the main group of the Russian fleet vessels and are demanded by fishing companies. At the same time, fishing companies bear significant operational costs as many medium-sized fishing vessels are rather out of date, they have low technical and economic indicators and accordingly do not meet the modern requirements of a market economy. There was developed an approach for the fast solution of the fleet renewal problem when, in order to develop a new vessel project, the design organization uses a well-known project (prototype), which subjects a certain type of modernization at the request of the customer. Such an approach in designing solves particular problems and does not allow creating ships that are competitive on the world market. To create new projects of competitive vessels it is necessary to have a system analysis of the main elements and characteristics of well-known projects of Russian and foreign vessels, the analysis of hydrometeorological conditions of their operation, new mathematical models for carrying out variational studies of the most important characteristics of the ship and multi-criteria technical and economic analysis, as well as modern software products and model tests. Taking into account the above mentioned, KSTU started developing methodological support for the creation of modern projects for fishing trawlers for exclusive economic zones. The results of the research presented in this article contain statistical data on the projects of analog ships, the functional dependencies of the changes in their main elements, and also the relationships of the main dimensions, which determine the boundary conditions necessary for the development of the technical task and for conducting variational studies at the early stages of design. The object of the research was fishing vessels, with an estimated length of 29.0 - 39.0 m. The purpose of the research was to determine the functional dependencies of the variation: width, draft, height and displacement from the estimated length of the vessel, the ratio of the main elements, as well as the coefficients of the total completeness and power-to-weight ratio of the Froude number.

shipbuilding, fishing vessels, exclusive economic zone, system analysis, the main elements of the vessel, the ratio of the main dimensions

ВВЕДЕНИЕ

Требования рыночной экономики к техническим и экономическим характеристикам промысловых судов обуславливают необходимость применения системного подхода при проектировании и оптимизации объекта морской техники в целом, а также его подсистем и их основных элементов. Анализ технических документов и литературных источников показал, что для учета гидрометеорологических условий эксплуатации проектируемых судов применительно к исключительным экономическим зонам России могут быть использованы данные, полученные в работе [1]. Методология проектирования водоизмещающих судов изложена в работах [2, 3], а методика проектирования рыболовных судов в работах [4, 5, 6]. Методические положения для определения формы корпуса и обеспечения мореходных качеств судов, в том числе остойчивости, представлены в работах [7, 8, 9, 10], а методика определения нагрузки масс для водоизмещения порожнем судов различного назначения в работе [6]. Теоретические положения проектного обеспечения норм вибрации на судах промыслового флота представлены в работе [11], а методика определения экономической эффективности и результаты оценки эффективности рыболовного

флота в работах [12-14]. Анализ технической литературы показал, что имеются необходимые теоретические и методические основы, позволяющие перейти к системным исследованиям элементов и характеристик промыслового судна, с целью улучшения его технико-экономических характеристик. Результатом системных исследований мореходных, прочностных, вибрационных, технологических и экономических качеств судна должен стать новый объект морской техники, полученный по результатам оптимизационных расчетов. Структурная схема исследований в обозначенной области представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема исследований средних рыболовных судов

Fig. 1. Structural diagram of medium fishing vessels research

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С учетом разработанной структурной схемы (рис. 1) собрана статистика судов, которые могут быть использованы в качестве аналогов для создания среднего рыболовного судна для исключительных экономических зон (таблица).

Результаты статистического анализа, определяющие общие закономерности изменения расчетной ширины B , высоты борта H , осадки в грузу T от расчетной длины судна $L_{пп}$ представлены на рис. 2; результаты статистического анализа, определяющие закономерности изменения отношений основных элементов ($L_{пп}/B$, B/T , H/T , $L_{пп}/H$) судов данного типа от расчетной длины показаны на рис. 3. Зависимости имеют линейных характер, отражающий изменение параметров с ростом длины судна. Из обработанной статистики получены граничные условия для соотношений главных размерений, которые составляют: $2,8 \leq L/B \leq 4,5$; $1,7 \leq B/T \leq 2,5$; $1,3 \leq H/T \leq 1,8$; $4,2 \leq L/H \leq 5,5$.

Получена статистическая зависимость, отражающая изменение полного водоизмещения от расчетной длины судна (рис. 4). На рис. 5 представлена зависимость, показывающая изменение коэффициента общей полноты δ от числа Фруда (Fr), а на рис. 6 – зависимость коэффициента изменения коэффициента энерговооруженности от числа Фруда (Fr).

Таблица. Статистические данные по рыболовным судам для исключительных экономических зон

Table. Statistical data on fishing vessels for exclusive economic zones

№ п/п	Название и год постройки	Место постройки	Валовая вместимость, $D_{вТ}$	$N_{гд}$, кВт	V_s , узлы	$L_{пп}$, м	B , м	H , м	T , м	$n_{эк}$, чел.
1	"Ягры" Проект 50010, 1999 г.	Россия	601	1080	11,0	34,8	10,2	6,7	4,23	20
2	"TOBIS" HG 306, 2009 г.	Норвегия	574	1324	11,7	35,0	10,0	6,7	4,1	10
3	Project 3911, 2012 г.	Норвегия	880	1500	-	36,4	11,0	7,2	5,5	15
4	Project 4211, 2012 г.	Норвегия	750	1100	-	36,9	11,0	7,2	4,4	15
5	"Bergholm", 1988 г.	Норвегия	466	630	11,0	30,0	8,2	6,4	3,9	14
6	"Lerkur", 1999 г.	Норвегия	615	1470	-	35,86	10,5	6,99	4,64	14
7	"Peene Werft"	Россия	837	1920	12,0	34,8	11,0	7,25	5,2	-
8	FIN 110 V "SILVA", 2006 г.	Финляндия	399	1620	13,0	31,0	9,5	6,3	3,95	-
9	FIN 111 V "Silva Nova", 1999 г.	Финляндия	666	2460	13,0	36,0	10,0	7,3	4,8	-
10	"India Rose" D 683, 2004 г.	Ирландия	499	1760	13,0	31,65	10,0	6,5	4,2	11
11	"Bressay" BL-900470 2002 г.	Франция	740	1420	12,0	36,6	11,0	6,9	4,55	11
12	"Audacious" BF83, 1999 г.	Шотландия	615	1470	13,0	29,65	10,5	6,9	4,55	13
13	M 190 "LORAN", 1989 г.	Норвегия	465	610	12,0	30,0	8,2	6,4	4,0	-
14	Ins 20 "WESTRO", 1998 г.	Шотландия	550	1470	13,0	29,0	10,5	6,9	4,55	11
15	M 44 u "Karl Vardøy", 1989 г.	Норвегия	465	610	12,0	30,0	8,2	6,4	4,0	-
16	G 190 "Girl Stephanie", 2004 г.	Ирландия	663	2540	14,3	39,0	10,5	7,14	4,64	9
17	"Иван Шаньков" проект 2198, 1997 г.	Россия	837	1920	13,4	34,8	11,0	7,25	5,2	17
18	"Валерий Маслаков" проект 70126, 2003 г.	Россия	606	1250	12,0	36,9	9,5	6,88	3,85	20
19	"Beinivørp" IS-440, 1998 г.	Польша	596	1325	-	39,0	8,6	6,45	4,2	18

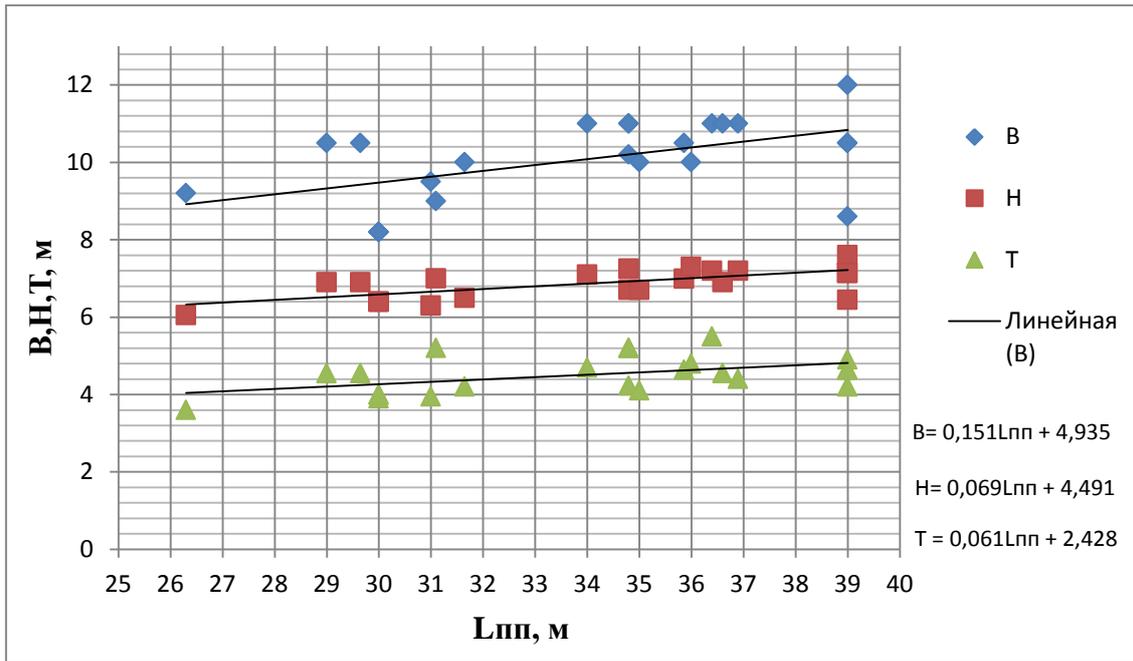


Рис. 2. Зависимость ширины, высоты борта и осадки от расчетной длины судна
 Fig. 2. The dependence of the width, depth, and the fallout on the estimated length of the vessel

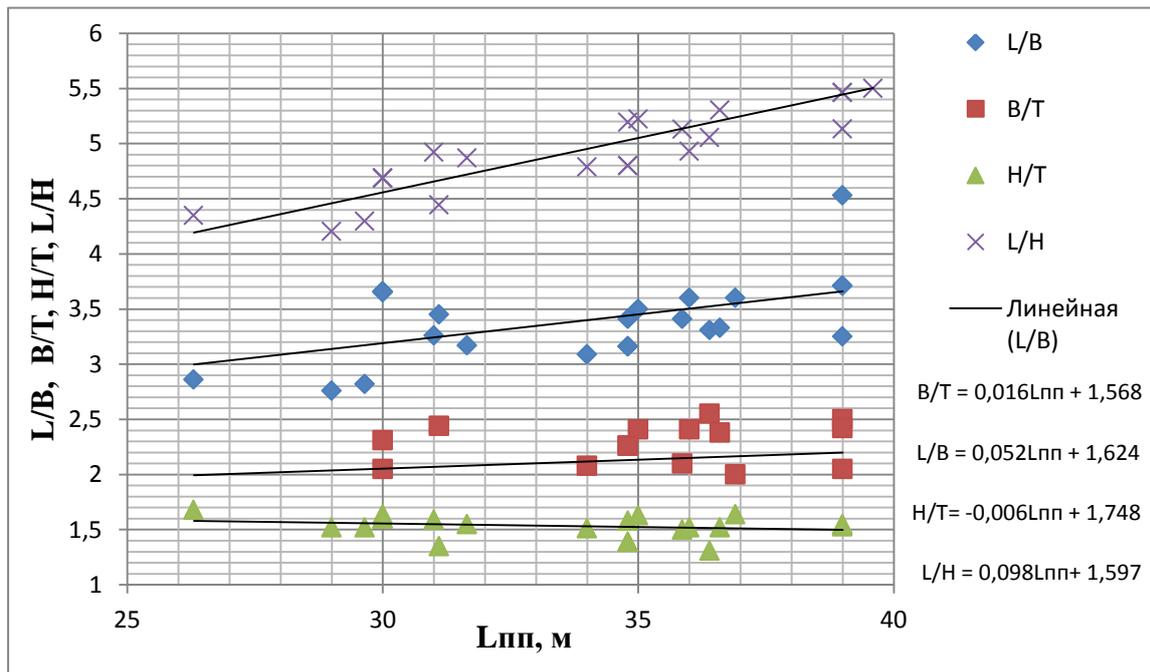


Рис. 3. Зависимость отношений основных элементов от расчетной длины судна
 Fig. 3. Key elements dependence on the estimated length of the vessel

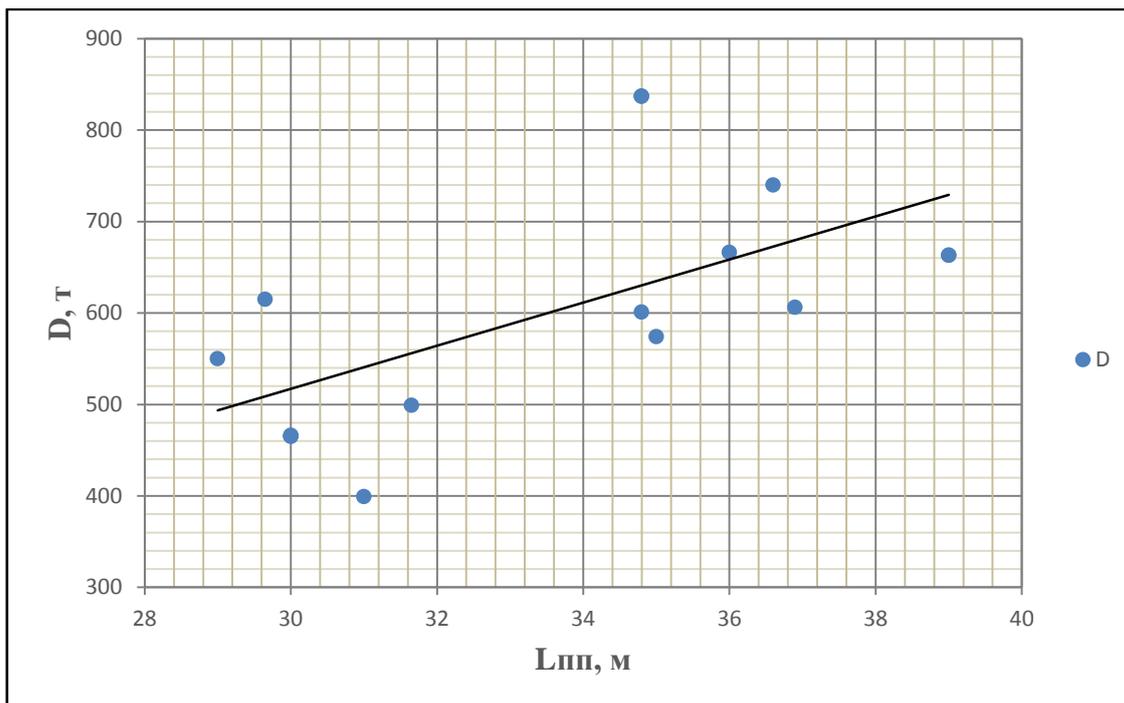


Рис. 4. Зависимость полного водоизмещения от расчетной длины судна
 Fig. 4. Full displacement dependence on the computational length of the vessel

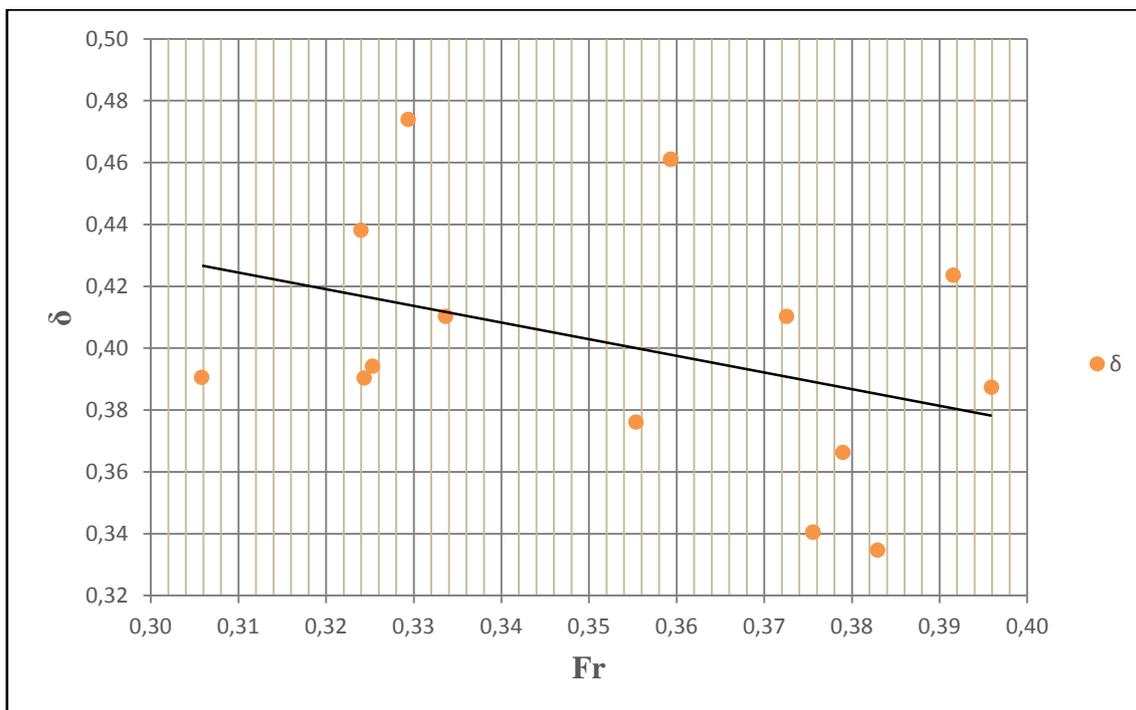


Рис. 5. Зависимость коэффициента общей полноты δ от числа Фруда Fr
 Fig. 5. Coefficient of the general completeness δ dependence on the Froude's number Fr

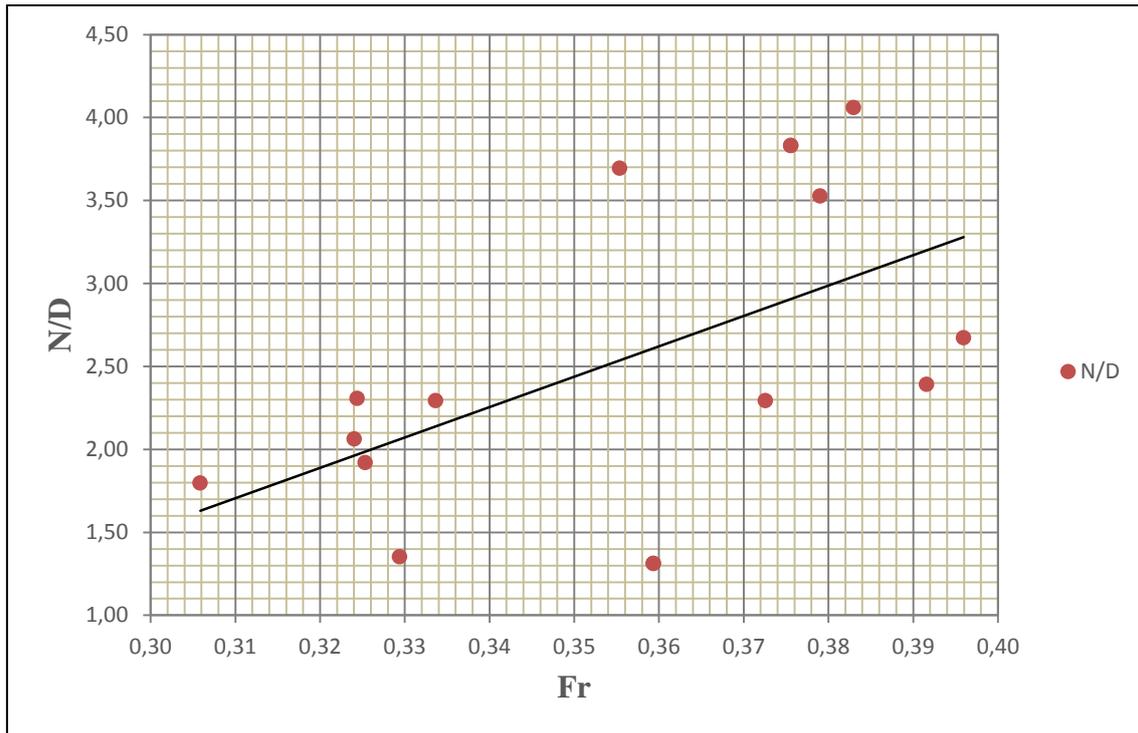


Рис. 6. Зависимость коэффициента энерговооруженности от числа Фруда Fr
 Fig. 6. Installed power dependence on the Froude's number Fr

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выполнения проектных работ, связанных с определением основных элементов средних рыболовных судов для исключительных экономических зон, получены расчетные зависимости, позволяющие определить главные размерения (1)-(3) и соотношения главных размерений (4)-(8):

$$B=0,151L_{\text{пн}} + 4,935, \text{ м}; \quad (1)$$

$$H=0,069 L_{\text{пн}} + 4,491, \text{ м}; \quad (2)$$

$$T=0,061 L_{\text{пн}} + 2,428, \text{ м}; \quad (3)$$

$$B/T=0,016 L_{\text{пн}} + 1,568; \quad (4)$$

$$L/B=0,052 L_{\text{пн}} + 1,624; \quad (5)$$

$$H/T=-0,006 L_{\text{пн}} + 1,748; \quad (6)$$

$$L/H=0,098 L_{\text{пн}} + 1,597; \quad (7)$$

$$D = 23,55L_{\text{пн}} - 189,32. \quad (8)$$

Расчетная зависимость изменения коэффициента общей полноты от изменения числа Фруда Fr (9):

$$\delta = -0,539 Fr + 0,5915; \quad (9)$$

расчетная величина энерговооруженности средних рыболовных траулеров (10):

$$N/D = 18,308 Fr - 3,97. \quad (10)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Актуализированное комплексное исследование основных требований к главным характеристикам и параметрам функционирования современных скоростных морских рыбоохранных судов неограниченного и ограниченного районов плавания: отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград, 2015. – 155 с.
2. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.1. Описание системы «Корабль». – 819 с.
3. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович: в 2 т. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – Т.2. Анализ и синтез системы «Корабль». – 812 с.
4. Дятченко, С. В. Определение основных элементов и характеристик средних рыболовных траулеров на начальных этапах проектирования / С. В. Дятченко, Н. Х. Лыонг // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. 2009. – № 2. – С. 19-25.
5. Иванов, В. П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учебник / А. П. Иванов – Калининград: Изд-во БГАРФ, 210. – 275 с.
6. Раков, А. И. Проектирование промысловых судов / А. И. Раков, Н. Б. Севастьянов. – Ленинград: Судостроение, 1981. – 376 с.
7. Дятченко, С. В. Математическая модель для оценки остойчивости средних траулеров на ранних стадиях их проектирования / С. В. Дятченко, В. А. Коробчинский, А. А. Лисицын // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2017. – С. 49-54.
8. Малышев, А. Н. Плавучесть и устойчивость промысловых судов / А. Н. Малышев. – Москва: Мир, 2003. – 272 с.
9. Мореходность судов и средств океанотехники. Методы оценки: монография / науч. ред. И. К. Бородай / ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – Санкт-Петербург, 2003. – 256 с.
10. Ногид, Л. М. Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа / Л. М. Ногид. – Ленинград: Судпромгиз, 1962. – 243 с.
11. Дятченко, С. В. Теоретические положения проектного обеспечения норм вибрации на судах промыслового флота / С. В. Дятченко // Известия КГТУ. – Калининград, 2012. – № 25. – С.119-126.
12. Степанова, Л. А. Конкурентоспособность организаций и продукции судостроительной промышленности: учеб. пособие / Л. А. Степанова, Е. В. Маслюк. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 263 с.
13. Экономическая эффективность использования российского рыбопромыслового флота в Баренцевом море: отчет / WWF России. – Москва, 2007. – 53 с.
14. Маслюк, Е. В. Проектирование морских судов. Расчеты нагрузки масс водоизмещения порожнем судов различного назначения / Е. В. Маслюк, А. Ф. Иконников. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 47 с.

REFERENCES

1. Aktualizirovannoe kompleksnoe issledovanie osnovnykh trebovaniy k glavnym kharakteristikam i parametram funktsionirovaniya sovremennykh skorostnykh morskikh rybookhrannykh sudov neogranichennogo i ogranichennogo rayonov plavaniya [Actualize a comprehensive study of the main requirements for the main characteristics and parameters of the functioning of modern high-speed marine conservation ships unrestricted and restricted navigation areas]. *Otchet o NIR*. FGBOU VPO «KGTU». Kaliningrad, 2015, 155 p.
2. Gaykovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korably i sudov* [Theory of the design displacement ships]. Saint-Petersburg, izd-vo NITs MORINTEKh, 2014, vol. 1, 819 p.
3. Gaykovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchikh korably i sudov* [Theory of the design displacement ships]. Saint-Petersburg, izd-vo NITs MORINTEKh, 2014, vol. 2, 812 p.
4. Dyatchenko S. V., Lyong N. Kh. Opredelenie osnovnykh elementov i kharakteristik srednikh rybolovnykh traulerov na nachal'nykh etapakh proektirovaniya [Identification of the main elements and characteristics of the average fishing trawlers in the early stages of design]. *Vestnik AGTU. Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2009, no. 2, pp. 19-25.
5. Ivanov V. P. *Tekhniko-ekonomicheskie osnovy sozdaniya rybolovnykh sudov: uchebnik* [Technical and economic basis for the creation of fishing vessels: a textbook]. Kaliningrad, izd-vo BGARF, 210, 275 p.
6. Rakov A. I., Sevast'yanov N. B. *Proektirovanie promyslovykh sudov* [Design of fishing vessels]. L., Sudostroenie, 1981, 376 p.
7. Dyatchenko S. V., Korobchinskiy V. A., Lisitsynyu A. A. *Matematicheskaya model' dlya otsenki ystoychivosti srednikh traulerov na rannikh stadiyakh ikh proektirovaniya* [A mathematical model for estimating the stability of medium trawlers in the early stages of their design]. Saint-Petersburg, izd-vo NITs MORINTEKh, 2017, pp. 49-54.
8. Malyshev A. N. *Plavuchest' i ustoychivost' promyslovykh sudov* [Buoyancy and stability of fishing vessels]. Moscow, Mir, 2003, 272 p.
9. *Morekhodnost' sudov i sredstv okeanotekhniki. Metody otsenki* [Seaworthiness of ships and ocean technology. Methods of evaluation]. FGUP «Krylovskiy gosudarstvennyy nauchnyy tsentr», Saint-Petersburg, 2003, 256 p.
10. Nogid L. M. *Proektirovanie formy sudna i postroenie teoreticheskogo chertezha* [Designing the vessel shape and constructing a theoretical drawing]. L., Sudpromgiz, 1962, 243 p.
11. Dyatchenko S. V. Teoreticheskie polozheniya proektnogo obespecheniya norm vibratsii na sudakh promyslovogo flota [Theoretical Provisions of Design Support for Vibration Standards on Commercial Fleet Vessels]. *Izvestiya KGTU*, Kaliningrad, 2012, no. 25, pp. 119-126.
12. Stepanova L. A., Maslyuk E. V. *Konkurentosposobnost' organizatsiy i produktsii sudostroitel'noy promyshlennosti: uchebnoe posobie* [Competitiveness of organizations and products of the shipbuilding industry: textbook]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2011, 263 p.

13. Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya rossiyskogo rybopromyslovogo flota v Barentsevom more [Economic efficiency of the use of the Russian fishing fleet in the Barents Sea]. *Otchet*. WWF Rossii, Moscow, 2007, 53 p.

14. Maslyuk E. V., Ikonnikov A. F. *Proektirovanie morskikh sudov. Raschety nagruzki mass vodoizmeshcheniya porozhnet sudov razlichnogo naznacheniya* [Designing of sea-going ships. Calculations of the load of masses of displacement of empty vessels for various purposes]. Kaliningrad, izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2008, 47 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дятченко Сергей Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, доцент; заведующий кафедрой кораблестроения

Dyatchenko Sergey Vasilyevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; head of the shipbuilding department

Шушило Елизавета Олеговна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры «Кораблестроение»

Shishilo Elizaveta Olegovna – Kaliningrad State Technical University; graduate student of the shipbuilding department

УДК 629.436

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ
И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДИЗЕЛЕЙ
РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА

В. И. Одинцов

THE STRUCTURAL AND OPERATIONAL FACTORS EFFECT MODELING
METHODS ANALYSIS ON THE FISHING FLEET ECONOMY OF THE DIESEL
ENGINES

V. I. Odintsov

Суда флота рыбной промышленности работают в различных зонах Мирового океана, отличающихся гидрометеорологическими условиями, влияющими на изменение технического состояния. К гидрометеорологическим условиям относятся: сила и направление ветра, уровень волнения моря, глубина под килем, барометрическое давление, температура и относительная влажность окружающего воздуха, температура и уровень солёности заборной воды. В результате их воздействия на суда ухудшается техническое состояние топливной аппаратуры, элементов системы наддува и газообмена, изнашиваются детали цилиндропоршневой группы. Совместное влияние приведенных выше факторов, ухудшает процессы распыливания и смесеобразования, а продолжительность процесса сгорания – увеличивается. Вследствие этого растут расходы топлива, увеличивается теплонапряженность. Обилие действующих факторов не позволяет экспериментальным путем оценить влияние каждого из них на увеличение расходов топлива применительно к исследуемому дизелю из-за высокой трудоёмкости, высоких затрат и невозможности зачастую провести исследование по методу одно- либо многофакторного эксперимента, поскольку все процессы в дизеле взаимосвязаны. В настоящей статье проведен анализ методов моделирования влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на экономичность работы двигателей рыбопромыслового флота. Обоснован метод моделирования и проведены расчетные исследования влияния ряда эксплуатационных факторов на расходы топлива и максимальное давление сгорания в двигателях типа 6 ЧН 40/46, установленных на судах проекта 1288.

топливная экономичность, методы анализа, эксплуатационные факторы, параметры рабочего процесса

Vessels of the fishing industry work in different zones of the World Ocean, differing in hydrometeorological conditions and technical state. Hydrometeorological conditions include: wind force and direction, sea level, depth under the keel, barometric pressure, temperature, relative air humidity, temperature and salinity of the seawater. The technical condition of the fuel equipment, the elements of the pressurization and gas exchange systems deteriorates, the details of the cylinder-piston group wear out.

The combined effect of the above factors worsens the spraying of the mixture, and the duration of the combustion process increases. As a result, fuel costs are rising, and heat stress is increasing. The abundance of operating factors does not allow us to evaluate experimentally the influence of each of them on the increase in fuel consumption, as applied to the diesel engine under investigation, because of the high laboriousness, high costs and the inability to carry out a single- or multifactor experiment frequently, since all the processes in the diesel are interrelated.

In this paper, the methods analysis is made in modeling the effect of structural and operational factors on the efficiency of the operation of the engines of the fishing fleet. The simulation method is substantiated and calculations of the effect of operational factors on fuel consumption in the six cylinder four stroke supercharged 40/46 engine installed on the vessels of the project 1288 are carried out.

fuel economy, analysis methods, operational factors, workflow parameters

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения топливной экономичности является одной из основных в течение всего периода развития двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Несмотря на это, к настоящему времени еще не использованы все потенциальные резервы совершенствования рабочего процесса. Поэтому проблема уменьшения удельного расхода топлива является актуальной и в настоящее время. Особенно в связи с тем, что расходы на топливо составляют значительную часть эксплуатационных расходов.

Применительно к судовым ДВС проблема увеличения топливной экономичности включает два аспекта: разработку и применение высокоэкономичных двигателей и ограничение роста эксплуатационных расходов топлива относительно паспортных значений.

Сокращение продолжительности и уменьшение затрат на отработку высокоэкономичных ДВС обеспечивается на стадии проектирования, когда вычисляются оптимальные значения основных конструктивных и регулировочных параметров, определяющих протекание рабочего процесса. В этом случае экспериментально проверяется и уточняется только несколько искомых параметров. К ним относятся: диаметр цилиндра и ход поршня, среднее эффективное давление, скорость двигателя (частота вращения), диаметр и количество сопловых отверстий в форсунке, количество форсунок в одном цилиндре, давление впрыскивания топлива, характеристики топлива, коэффициент расхода форсунки, конфигурация камеры сгорания, турбулентность заряда воздуха в цилиндре.

Более предпочтительным является такой способ оптимизации, при котором расчет параметров ДВС осуществляется обратным путем, исходя из заданных значений мощности и топливной экономичности.

В связи с большим разнообразием типоразмеров судовых ДВС исследование влияния эксплуатационных факторов на их топливную экономичность (с целью ограничения расхода топлива) также целесообразно проводить преимущественно расчетным путем.

Целью работы является обоснование метода анализа экономичности рабочего цикла и получение уравнений, отражающих в явном виде влияние

эксплуатационных факторов на удельные расходы топлива в двигателях типа 6ЧН 40/46.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ

В разработку методов анализа экономичности рабочего цикла дизелей значительный вклад внесли академики Н. Р. Брилинг, Б. С. Стечкин, профессора В. И. Гриневецкий, В. А. Ваншейдт, С. И. Погодин, В. И. Сороко-Новицкий, Н. М. Глоголев, К. И. Генкин, Н. Х. Дьяченко, А. И. Толстов, Д. А. Портнов и др.

Достоинством подхода, принятого в классической теории ДВС [1], является установление влияния на величину индикаторного КПД следующих факторов: коэффициента избытка воздуха при сгорании, давления и температуры воздуха в продувочном коллекторе, коэффициента наполнения, среднего индикаторного давления.

Дальнейшее развитие классического метода получено в работах академика Н.Р. Брилинга, который впервые применил характеристику тепловыделения при анализе рабочего процесса и показал, что отличие КПД действительного цикла от теоретического обусловлено потерями теплоты в стенки деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), недогоранием топлива и потерями из-за «несвоевременности сгорания» [2]. В дальнейшем профессор В.И. Сороко-Новицкий разделил индикаторную диаграмму действительного цикла на ряд элементарных циклов и показал, что КПД каждого из них определяется их положением относительно верхней мертвой точки (ВМТ).

Академик Б.С. Стечкин и профессор К.И. Генкин внесли вклад в дальнейшее развитие этого подхода [2]. Потери при теплоотводе в стенки деталей ЦПГ и от неполноты сгорания предложено учитывать с помощью КПД сгорания. Для оценки потерь от «несвоевременности сгорания» введен действительный относительный КПД. В результате индикаторный КПД представлен:

$$\eta_i = \eta_t \cdot \eta_{\text{сг}} \cdot \eta_{\text{отн.д}}, \quad (1)$$

где η_t – КПД теоретического цикла; $\eta_{\text{сг}}$ – КПД сгорания; $\eta_{\text{отн.д}}$ – действительный относительный КПД, показывающий степень приближения действительного термодинамического цикла к теоретическому, принятому за эталон.

Положительной особенностью этого метода является ясный физический смысл и такой подход принят в дальнейшем для его совершенствования применительно к судовым ДВС [3]. В работах Н. М. Глоголева [4] и Д. А. Портнова [5] индикаторный КПД представлен в зависимости от ряда факторов, которые определяются эмпирическим путем. В работе профессора Д. Д. Матиевского [6] предложен метод анализа индикаторного КПД с произвольными характеристиками тепловыделения и теплоотдачи, разработанный для анализа имеющихся индикаторных диаграмм. Метод профессора З. З. Маца [7-10] основан на оценке характеристик тепловыделения с помощью обобщающих параметров: степени повышения давления при сгорании и отношения части площади индикаторной диаграммы, ограниченной кривой процессов сгорания-расширения, адиабатой и изохорой, проходящими через начало и конец участка сгорания-расширения. В предложенных зависимостях превалирующим фактором является степень повышения давления при сгорании. Недостаток заключается в

замене действительной характеристики тепловыделения обобщенными параметрами.

Таким образом, рассмотренные методы могут применяться после проведения экспериментальных исследований с получением индикаторных диаграмм. Для решения задач проектирования необходимо вычислить диаметр и количество сопловых отверстий в форсунке, количество форсунок в цилиндре, давление топливоподачи, коэффициент избытка воздуха при сгорании, диаметр и ход поршня, количество цилиндров, давление наддува, частоту вращения коленчатого вала по заданной мощности и экономичности дизеля. При решении эксплуатационных задач (в случае изменения гидрометеорологических условий, технического состояния элементов дизеля и подводной части корпуса судна) необходимо определить допустимое ухудшение технического состояния элементов дизеля, переход через которое приведет к излишнему расходу топлива или повышению до критических значений тепловой напряженности. Последнее приведет к аварии отдельного цилиндра или двигателя в целом.

На основе вышесказанного были проведены дальнейшие исследования по совершенствованию подходов, предложенных академиком Н. Р. Брилингом и Б. С. Стечкиным. Они заключались в разработке модели процесса сгорания и методов его расчета, а также методов расчета теплообмена и индикаторного процесса [3]. Применение разработанных методов заключалось в синтезе индикаторной диаграммы, состоящей из суммы элементарных положительных циклов с подводом теплоты в каждом из них при постоянном объеме и элементарных отрицательных циклов с мгновенным отводом теплоты при постоянном объеме (рисунок). Дополнительно учтены: работа на линии газообмена (δ_r), влияние сопротивления движению поршня на участке начала сгорания – ВМТ и повышение теплоемкости рабочего тела в период сгорания (η_b).

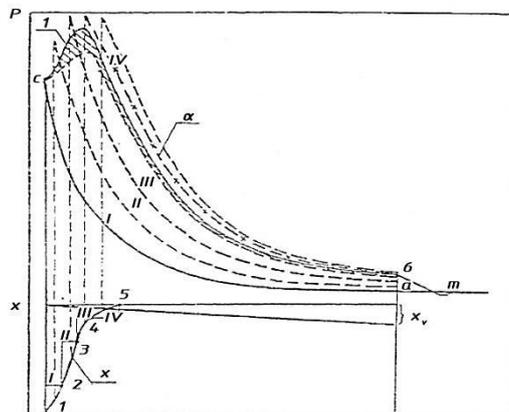


Рис. Схема синтеза индикаторной диаграммы:
 I, II, III, IV – элементарные положительные циклы; d – элементарные отрицательные циклы; l – потери, обусловленные отличием характеристик реального рабочего тела от идеального

Fig. The scheme of synthesis of the indicator diagram

В итоге индикаторный КПД [3]

$$\eta_i = \eta_{i,v} \cdot \eta_{сг} \cdot \eta_B \cdot \eta_{отн.д.в} (1 + \delta_{гс}) - \frac{R}{(k-1)C_v} \cdot \sum_{i=0}^p \Delta x_i (1 - \varepsilon_{сжи}^{k-1}) \times \quad (2)$$

$$\times \eta_B \cdot \eta_{срв}$$

где R , C_v – соответственно газовая постоянная и теплоемкость рабочего тела; $\varepsilon_{сжи}$ – степень сжатия (расширения) в i -м элементарном цикле; Δx_i – относительное количество теплоты, выделившейся при сгорании на i -м расчетном участке; η_B – КПД, учитывающий влияние температуры и состава рабочего тела в цилиндре на его теплоемкость; $\delta_{гс}$ – относительное влияние работы, совершаемой на участках газообмена в двигателях с наддувом.

Действительный относительный КПД, учитывающий влияние отклонения характеристики тепловыделения в исследуемом рабочем цикле от характеристики подвода теплоты при $V = const$ в идеальном цикле,

$$\eta_{отн.д.в} = \sum_{i=1}^n \left[\Delta x_i (1 - 1/\varepsilon_{pxi}^{k-1}) \right] / (1 - 1/\varepsilon_{се}^{k-1}), \quad (3)$$

$$\delta_{wv} = \sum_{m=1}^{\ell} \left[\Delta x_{wm} (1 - 1/\varepsilon_{pwm}^{k-1}) \right] / (1 - 1/\varepsilon_{се}^{k-1}), \quad (4)$$

где δ_{wv} – снижение КПД, обусловленное отводом теплоты через стенки ЦПГ в охлаждающую среду, в случае, когда в качестве критериального, принят идеальный цикл с подводом теплоты при $V = const$; ε_{pxi} – степень расширения в положительном i -м цикле; ε_{pwm} – степень расширения в элементарном отрицательном цикле; $\varepsilon_{се}$ – степень сжатия критериального цикла.

Закономерность тепловыделения вычисляется по нижеприведенным формулам:

$$X = 1 - \exp \left[-B \cdot C \cdot D \cdot K^{0,2} (\tau_i / \tau_z)^{m+1} \right], \quad (5)$$

где τ_i – отрезок времени от начала процесса сгорания до i -го момента, с; τ – продолжительность процесса сгорания; $m \approx 1,88$ – показатель, определенный экспериментальным путем для 12 типов судовых ДВС.

В свою очередь:

$$B = \left(\frac{\mu_{\cdot}}{\mu_{-3}} \right)^{1,42} \cdot \left(\frac{d_{сн}}{d_{сз}} \right)^{1,05} \cdot \left(\frac{T_{f\cdot} - T_{л\cdot}}{T_{fз} - T_{лз}} \right)^{0,71} \cdot \left(\frac{\rho_{г\cdot}}{\rho_{гз}} \right)^{1,05} \times \quad (6)$$

$$\left(\frac{\sigma_{з}}{\sigma_{\cdot}} \right)^{0,37} \left(\frac{\mu_{\cdot}}{\mu_{з}} \right)^{0,32} \frac{T_{лз} T_{л\cdot} J_{\cdot} g_{лз}}{T_{л\cdot} T_{лз} J_{-3} g_{л\cdot}};$$

$$C = \frac{tg \gamma_n (1 / \cos \gamma_n + tg \gamma_n)}{tg \gamma_{з} (1 / \cos \gamma_{з} + tg \gamma_{з})}; \quad (7)$$

$$D = \frac{\tau_{инд.н}}{\tau_{инд.э}} \frac{\tau_{впр.э}}{\tau_{впр.н}} \left(\frac{\tau_{Zн} - 0,5\tau_{впр.н}}{\tau_{Zэ} - 0,5\tau_{впр.э}} \right)^{1,6}; \quad (8)$$

$$E = 6,908 \frac{\alpha_{1н}}{\alpha_{1э}} \left(\frac{m_{\dots} + m_{\max н}}{P_{\dots} + m_{\max э}} \right)^{0,5}; \quad (9)$$

$$K_V = \left(\frac{\mu_{сн}}{\mu_{сэ}} \right)^{2,13} \left(\frac{d_{сн}}{d_{сэ}} \right)^{1,575} \left(\frac{P_{fn} - P_{ун}}{P_{fэ} - P_{уэ}} \right)^{1,065} \left(\frac{\tau_{впр.н}}{\tau_{впр.э}} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{\rho_{Tн}}{\rho_{Tэ}} \right)^{1,575} \left(\frac{\sigma_{э}}{\sigma_{н}} \right)^{0,555} \left(\frac{\mu_{1н}}{\mu_{1э}} \right)^{0,48} \left(\frac{P_{уэ}}{P_{ун}} \right) \times \quad (10)$$

$$\left(\frac{T_{ун}}{T_{уэ}} \right) \cdot \frac{tg^2 \gamma_n \cdot V_{ээ}}{tg^2 \gamma_э \cdot V_{ен}}$$

В уравнениях (5)-(10) приняты следующие обозначения:

$g_{ц}$ – цикловая подача топлива, кг;

i – количество цилиндров в ДВС;

K – показатель адиабаты идеального цикла;

$P_{сс}$ – давление сжатия при наличии сгорания, МПа;

P_{max} – максимальное давление цикла, МПа;

$P_{ц}$ – среднее давление рабочего тела в цилиндре ДВС в период сгорания, МПа;

P_f – среднее давление топлива в форсунке в период впрыскивания, кПа;

R – газовая постоянная;

S – ход поршня, см;

$T_{ц}$ – средняя температура рабочего тела в цилиндре ДВС в период сгорания топлива, К;

T_c – температура рабочего тела в конце процесса сжатия, К;

$\tau_{инд.}$ – период задержки воспламенения топлива, с;

$\tau_i(\varphi_i)$ – текущее время, отсчитываемое от начала воспламенения топлива, с ($^{\circ}$ ПКВ);

$\tau_z(\varphi_z)$ – продолжительность процесса сгорания, с ($^{\circ}$ ПКВ);

$\tau_{впр}$ – продолжительность впрыскивания топлива, с;

X_i – относительное количество теплоты, выделившееся в цилиндре к i -му моменту времени;

Δx_i – относительное количество теплоты, выделившееся в цилиндре на i -м расчетном интервале;

X_w – относительные потери теплоты в стенки ЦПГ;

α_l – воздушно-топливное отношение при сгорании;

μ_c – коэффициент расхода форсунки;

μ – динамическая вязкость топлива, Па · с;

J_c – количество сопловых отверстий в форсунках одного цилиндра ДВС, ед.;

ρ_T – плотность топлива, кг/м³;

σ – коэффициент поверхностного натяжения топлива, Н/м;

$\varphi_{нт}$ – угол начала воспламенения топлива, $^{\circ}$ ПКВ;

γ – угол топливной струи;

n, ε – соответственно индекс параметров разрабатываемого (исследуемого) двигателя и двигателя, принятого за эталон (базового).

Показатели степени в (6), (10) получены из уравнений, разработанных профессором А. С. Лышевским [11] для расчета геометрических параметров топливных струй на основе обработки экспериментальных данных своих, отечественных и зарубежных авторов. Показатели степеней в формулах (8), (9) получены путем обработки опытных данных по двенадцати типам ДВС.

На судах флота рыбной промышленности (например БМРТ 1288) применяются двигатели типа 6ЧН 40/46 мощностью 2570 кВт при частоте вращения 250 об./мин, степени сжатия $\varepsilon = 14$, удельном расходе топлива 212 г/кВт·ч. Анализ по вышеприведенным формулам показал, что действительный относительный КПД для этого двигателя равен $\eta_{\text{отн.д.}} = 0,744$. В то время как в современных судовых дизелях величина $\eta_{\text{отн.д.}}$ превышает 0,9 за счет сокращения продолжительности процесса сгорания до 30-45 °ПКВ.

С целью исследования влияния эксплуатационных факторов были проведены соответствующие расчеты по вышеприведенным формулам. Моделировалось влияние закоксовывания части сопловых отверстий форсунки, снижение давления топливоподачи вследствие износа прецизионных элементов топливной аппаратуры, изменение угла начала сгорания из-за разрегулировки или ухудшения качества топлива, уменьшение давления в момент начала сжатия. Последнее моделирует снижение барометрического давления, загрязнение проточной части турбокомпрессора и воздушного фильтра, а также элементов системы газообмена. Результаты представлены уравнениями (11)-(18).

Влияние изменения угла опережения воспламенения топлива (5-8 °ПКВ до ВМТ) на максимальное давление сгорания и удельный расход топлива аппроксимируется зависимостями с достоверностями $R^2 = 0,9993$ и $R^2 = 0,9971$ соответственно:

$$P_{\max} = -0,314f_{\text{инг}} + 10,951 \text{ МПа}, \quad (11)$$

$$b_e = -0,0005 f_{\text{инг}}^2 - 0,0042 f_{\text{инг}} + 0,2073 \text{ кг/кВт·ч}, \quad (12)$$

где $f_{\text{инг}}$ – опережение воспламенения топлива, °ПКВ.

Влияние изменения количества сопловых отверстий в форсунке (7)-(10) на максимальное давление сгорания и удельный расход топлива, аппроксимируется зависимостями с достоверностями $R^2 = 0,9934$ и $R^2 = 0,9984$ соответственно:

$$P_{\max} = 0,4844J_{\text{со}} + 7,9136 \text{ МПа}, \quad (13)$$

$$b_e = 0,0065 J_{\text{со}}^2 - 0,1345 J_{\text{со}} + 0,9065 \text{ кг/кВт·ч}, \quad (14)$$

где $J_{\text{со}}$ – количество сопловых отверстий в распылителе, ед.

Влияние изменения давления рабочего тела в момент начала сжатия в цилиндре (0,220-0,285 МПа) на максимальное давление сгорания и удельный расход топлива аппроксимируется зависимостями с достоверностями $R^2 = 1$ и $R^2 = 0,9989$ соответственно:

$$P_{\max} = -2 \cdot 10^{-5} P_A^2 + 0,0544 P_A - 0,7902 \text{ МПа}, \quad (15)$$

$$b_e = 10^{-6} P_A^2 - 0,0009 P_A + 0,3663 \text{ кг/кВт·ч}, \quad (16)$$

где P_A – давление рабочего тела в цилиндре в момент начала сжатия, МПа.

Влияние изменения среднего давления топливоподачи (50-70 МПа) на максимальное давление сгорания и удельный расход топлива аппроксимируется зависимостями с достоверностями $R^2 = 0,9985$ и $R^2 = 0,9737$ соответственно:

$$P_{\max} = 0,0855 P_T + 7,2857 \text{ МПа}, \quad (17)$$

$$b_e = 0,4201 \exp(-0,01 P_T) \text{ кг/кВт·ч}, \quad (18)$$

где P_T – среднее давление топлива в период топливоподачи, МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ методов моделирования влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на экономичность двигателей внутреннего сгорания показал, что наиболее приемлемыми являются подходы, разработанные академиком Н. Р. Брилингом и Б. С. Стечкиным, профессором В. И. Сороко-Новицким. Ими было установлено, что отличие в экономичности действительного цикла от идеального происходит из-за влияния продолжительности процесса сгорания, отвода теплоты в систему охлаждения и более высокой теплоемкости рабочего тела, увеличивающейся по мере повышения его температуры и доли продуктов сгорания.

Однако разработанные ими расчетные зависимости пригодны только для анализа индикаторных диаграмм. В то же время для сокращения продолжительности и трудоемкости создания новых дизелей или исследования влияния эксплуатационных факторов при разработке инструкций по эксплуатации необходимо, чтобы расчетные уравнения в явном виде учитывали влияние действующих факторов. Дальнейшее развитие подхода освещено в работе [3].

Применение метода [3] позволило установить влияние ухудшения технического состояния топливной аппаратуры, систем наддува и газообмена на максимальное давление сгорания и удельные расходы топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ваншейдт, В. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В. А. Ваншейдт. – Ленинград: Судостроение, 1977. – С. 392.
2. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя / Б. С. Стечкин [и др.]. – Москва: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 231.
3. Одинцов, В. И. Рабочий процесс судовых ДВС: монография / В. И. Одинцов. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010. – 141 с.
4. Глаголев, Н. М. Способы повышения КПД тепловозных двигателей / Н. М. Глаголев // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков, 1961. – Вып. 2. – С. 5-24.
5. Портнов, Д. А. Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия / Д. А. Портнов. – Москва: Машиностроение, 1963. – С. 639.
6. Матиевский, Д. Д. Метод анализа индикаторного КПД рабочего цикла двигателя / Д. Д. Матиевский // Двигателестроение. – 1984. – № 6. – С. 7-11.
7. Мац, З. З. Анализ рабочего процесса ДВС с помощью общих характеристик / З. З. Мац // Энергомашиностроение. – 1970. – № 1. – С. 20-23.
8. Мац, З. З. Унифицированный цикл двигателя / З. З. Мац // Энергомашиностроение. – 1974. – № 5. – С. 41-44.
9. Мац, З. З. Инженерный метод расчета процесса сгорания в дизелях / З. З. Мац // Двигателестроение. – 1982. – № 9. – С. 16-18.
10. Мац, З. З. Расчеты процесса сгорания при различных режимах работы двигателя / З. З. Мац // Двигателестроение. – 1984. – № 8. – С. 3-6.
11. Лышевский, Ф. С. Распыливание топлива в судовых ДВС / Ф. С. Лышевский. – Ленинград: Судостроение, 1971. – С. 224.

REFERENCES

1. Vansheydt V. A. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Ship engines of internal combustion]. L., Sudostroenie, 1977, 392 p.
2. Stechkin B. S. i dr. *Indikatornaya diagramma, dinamika teplovydeleniya i rabochiy tsikl bystrokhodnogo porshneвого dvigatelya* [Indicator diagram, heat generation dynamics and duty cycle of a high-speed reciprocating engine]. Moscow, izd-vo AN SSSR, 1960, 231 p.
3. Odintsov V. I. *Rabochiy protsess sudovykh DVS* [Working process of ship engines]. Kaliningrad, izdatel'stvo BGARF, 2010, 141 p.
4. Glagolev N. M. *Sposoby povysheniya KPD teplovozykh dvigateley*. [Methods for increasing the efficiency of diesel engines]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, Khar'kov, 1961, iss. 2, pp. 5-24.
5. Portnov D. A. *Bystrokhodnye turboporshnevyye dvigateli s vosplamneniem ot szhatiya* [High-speed turbo piston engines with compression ignition]. Moscow, Mashinostroenie, 1963, 639 p.
6. Matievskiy D. D. *Metod analiza indikatornogo KPD rabocheго tsikla dvigatelya* [Method for analyzing the indicator efficiency of the engine operating cycle]. *Dvigatelestroenie*, 1984, no. 6, pp. 7-11.
7. Mats Z. Z. *Analiz rabocheго protsessa DVS s pomoshch'yu obshchikh kharakteristik* [Analysis of the ICE workflow using common characteristics]. *Energomashinostroenie*, 1970, no. 1, pp. 20-23.
8. Mats Z. Z. *Unifitsirovannyй tsikl dvigatelya* [Unified motor cycle]. *Energomashinostroenie*, 1974, no. 5, pp. 41-44.
9. Mats Z. Z. *Inzhenernyy metod rascheta protsessa sgoraniya v dizelyakh* [Engineering method for calculating the combustion process in diesel engines]. *Dvigatelestroenie*, 1982, no. 9, pp. 16-18.
10. Mats Z. Z. *Raschety protsessa sgoraniya pri razlichnykh rezhimakh raboty dvigatelya* [Calculations of the combustion process for different engine operating conditions]. *Dvigatelestroenie*, 1984, no. 8, pp. 3-6.
11. Lyshevskiy F. S. *Raspylivanie topliva v sudovykh DVS* [Atomization of fuel in marine ICE]. L., Sudostroenie, 1971, 224 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Одинцов Виктор Иванович – Балтийская государственная академия
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»;
доктор технических наук, профессор кафедры «Судовые энергетические
установки»; E-mail: seu@bga.gazinter.net

Odintsov Viktor Ivanovich – Baltic State Academy of the Kaliningrad State Technical
University; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
of Ship Power Plants; E-mail: seu@bga.gazinter.net

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 551.510.535

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗБУЖДЕННЫХ КОМПОНЕНТ
В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В. В. Медведев, И. В. Тимофеева, В. Е. Еремичева

MATHEMATICAL MODEL OF EXCITED COMPONENTS IN THE EARTH
IONOSPHERE

V. V. Medvedev, I. V. Timofeeva, V. E. Eremicheva

Представлена математическая модель для расчета ионосферных параметров в системе, связанной с магнитной линией Земли, с учетом метастабильных составляющих. Данная модель состоит из системы нелинейных связанных дифференциальных уравнений первого и второго порядка, дополненных необходимыми начальными условиями, и решается методом конечных разностей. Исследована роль метастабильных компонентов в рекомбинации ионосферной плазмы в F2-области, таких как температуры ионов O^+ , H^+ , электронов N_e , концентрации возбужденных компонент положительных ионов $O^+(^4S)$, $O^+(^2D)$, $O^+(^2P)$, H^+ , $O_2^+(x^2\pi_g)$, $O_2^+(x^2\pi_u)$, N_2^+ , NO^+ . Предложенная модельная задача расчета высотно-временных распределений концентраций возбужденных компонент может быть использована для полной или частичной проверки построенной математической модели. Полученные результаты доказывают численную устойчивость модели по значениям входных параметров и согласуются с экспериментальными данными.

ионосферный параметр, метастабильный компонент, ионосферная плазма, экзотермическая реакция

A mathematical model is presented for calculating ionospheric parameters in the frame bound to the magnetic lines of Earth inclusive of metastable components. This model consists of a system of nonlinear, coupled first and second order differential equations supplemented by the necessary initial conditions, and is solved by the method of finite differences. The role of metastable components in a recombination of ionospheric plasma in F2-area, such as the temperature of ions O^+ , H^+ and electrons N_e , concentration of excited components of positive ions $O^+(^4S)$, $O^+(^2D)$, $O^+(^2P)$, H^+ , $O_2^+(x^2\pi_g)$, $O_2^+(x^2\pi_u)$, N_2^+ , NO^+ , is investigated. The proposed model problem of calculating altitude - time distributions of the concentrations of excited components can be used for a complete or partial verification of the constructed mathematical model. The results obtained prove numerical stability of the model in the input data and are consistent with the experimental data.

ionospheric parameter, metastable component, ionospheric plasma, exothermic reaction

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения надежной навигации надводных и подводных кораблей необходимо знать среду распространения электромагнитных волн - ионосферную область (холодная плазма). В настоящее время основным инструментом изучения ионосферы является математическое моделирование, с помощью которого проводятся различные вычислительные эксперименты [1-3]. В данной работе рассмотрена часть общей математической модели ионосферной плазмы – математическая модель возбужденных компонент.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Система газодинамических уравнений, описывающая вышеотмеченные параметры, для заряженных компонент ионосферной плазмы записывается в виде дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных (1) – (6):

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \nabla(n_i V_i) = Q_i - L_i; \quad (1)$$

$$n_e = \frac{1}{e} \sum_i e_i n_i; \quad (2)$$

$$n_i m_i \left[\frac{dV_i}{dt} + \Omega \times (\Omega \times r) + 2\Omega \times V_i \right] = -\nabla(n_i k T_i) + n_i m_i g + n_i e_i (E + V_i \times B) - \\ - \sum_n n_i m_i v_{in} (V_i - V_n) - \sum_{k \neq i} n_i m_i v_{ik} (V_i - V_k) - n_i k \beta_i \nabla T_i; \quad (3)$$

$$\frac{dV_e}{dt} = 0 = -\nabla(n_e k T_e) - n_e e (E + V_e \times B) - n_e k \alpha \nabla T_e; \quad (4)$$

$$\frac{3}{2} n_i k \frac{dT_i}{dt} + n_i k T_i \nabla V_i - \nabla(\lambda_i \nabla T_i) = n_i m_i \left\{ \sum_n \frac{v_{in}}{m_i + m_n} \times [3k(T_n - T_i) + m_n (V_n - V_i)^2] + \right. \\ \left. + \sum_{k \neq i} \frac{v_{ik}}{m_i + m_k} [3k(T_k - T_i) + m_k (V_k - V_i)^2] + \frac{v_{ie}}{m_i} 3k(T_e - T_i) \right\}; \quad (5)$$

$$\frac{3}{2} n_e k \frac{dT_e}{dt} + n_e k T_e \nabla V_e - \nabla(\lambda_e \nabla T_e) = \\ = 3kn_e m_e \times \left[\sum_n \frac{v_{en}}{m_n} (T_n - T_e) + \sum_i \frac{v_{ei}}{m_i} (T_i - T_e) \right] + P_e + W_e. \quad (6)$$

Описание необходимых коэффициентов и параметров можно найти в [1, 2, 4, 5].

Решение нелинейной («жесткой») связанной системы (1) - (6) проводится численным методом совместно с системой уравнений для нейтральных компонент ионосферной плазмы.

После перехода к сферической системе координат (r, θ, φ) , где r – радиус-вектор, θ – широта, φ – долгота, и затем к дипольной системе (α, β, γ) , связанной со сферической системой координат соотношениями $\alpha = r \cdot \sin^2 \theta$, $\beta = -r^2 \cdot \cos \theta$, $\gamma = \varphi$, получим, что одна из координатных осей дипольной системы совпадает с силовой линией геомагнитного поля $r = L \cdot R \cdot \sin^2 \theta$, $\varphi = \text{const}$, где L – параметр Мак-Илвайна, R – радиус Земли (рис. 1).

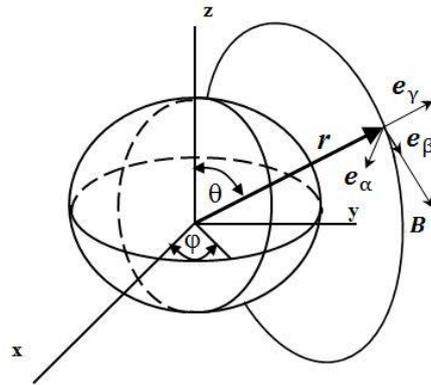
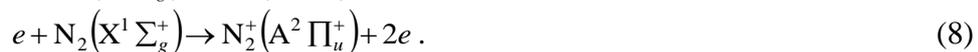


Рис. 1. Сферическая и дипольная системы координат
Fig. 1. Spherical and dipolar coordinate systems

Расчеты проведены по силовой трубке с параметром Мак-Илвайна $L=3$ и основанием на высоте $h_0=125$ км для высокой геомагнитной ($k_p=3$) и солнечной ($F_{10.7}=234$) активности. Результаты численных расчетов получены с шагом интегрирования $\tau=0,01$ по времени $0 < t \leq 1$ с, без учета процессов переноса [1].

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ СХЕМА

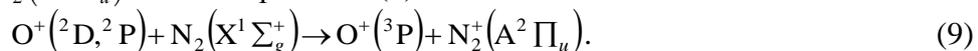
Первыми двумя возбужденными состояниями для N_2^+ являются $A^2\Pi_u$ и $B^2\Sigma_u^+$. Переход из состояния $A^2\Pi_u$ в $X^2\Sigma_g^+$ сопровождается излучением первой отрицательной полосы, а из $B^2\Sigma_u^+$ в $X^2\Sigma_g^+$ – излучением полосы Мейнела. Состояния $A^2\Pi_u$ и $X^2\Sigma_g^+$ образуются в основном в реакциях (7) - (8):



В первой отрицательной системе наиболее существенным является излучение с $\lambda = 391,4$ нм.

Первая отрицательная система $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$ (0,1), [1,2) и [2,3) дает голубые полосы в области спектра с $\lambda = 419,0 - 429,0$ нм при переходе из резонансного возбуждения $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$ в основное состояние $N_2^+(X^2\Sigma_g^+)$.

Ключевыми источниками $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$, по-видимому, являются прямое электронное возбуждение и резонансное рассеяние солнечного света. Состояние $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$ (3,0), (4,1), (5,2) дает спектр в области $\lambda = 684,0 - 738,0$ нм (Мейнеловские полосы), который получается при переходе из возбужденного состояния $N_2^+(A^2\Pi_u)$ в основное $N_2^+(X^2\Sigma_g^+)$. Важным источником образования состояния $N_2^+(A^2\Pi_u)$ является реакция (9):



В таблице приведены основные источники и стоки для N_2^+ .

Переход $N^+(^1S)$ из состояния 1S в 1D сопровождается эмиссионным свечением с $\lambda = 575,5$ нм, из 1S в 3P - с $\lambda = 306,3$ нм. В настоящее время фотохимические процессы, приводящие к образованию и гибели $N^+(^1S)$, мало изучены.

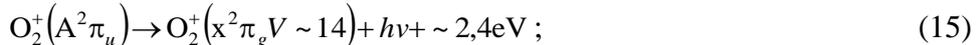
Скорость объемной эмиссии с использованием фотохимической схемы записывается в виде (10):

$$\eta_{575,5} = \frac{V \cdot \beta \cdot J \cdot [N_2]}{A_{1S} + k_5 \cdot [N_e] + (k_6 + k_8) \cdot [O] + (k_7 + k_9) \cdot [N_2]}, \quad (10)$$

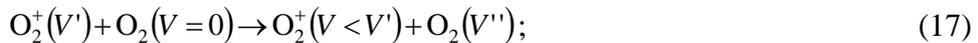
где A_{1S} – коэффициент Эйнштейна; k_i – константы реакций.

Данных относительно процессов образования и потерь $N^+(^1D)$ очень мало. Переход из состояния 1D в 3P сопровождается излучением с $\lambda = 658,4$ нм. В таблице приведены предполагаемые источники и стоки $N^+(^1D)$.

Существует несколько механизмов образования колебательно-возбужденных O_2^+ высоких колебательных уровней (11) – (16):



Основными процессами охлаждения являются (17) и (18):



Образование $a^4\pi_4$ электронно-возбужденных состояний $O_2^+(a^4\pi_4)$ происходит в основном в процессах фотоионизации. Потенциальными механизмами уменьшения $O_2^+(a^4\pi_4)$ могут быть реакции (19) – (23):



Таблица. Реакция положительных ионов

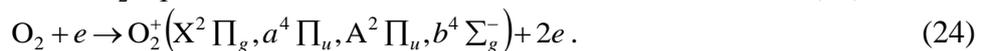
Table. Reaction of positive ions

№ п/п	Реакция	Коэффициенты (k_i)
1	2	3
1	$O^+(^4S) + H \rightarrow O + H^+$	$4 \cdot 10^{-10} (T_{эф}/300)^{0,5}$
2	$O^+(^4S) + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$	$2,8 \cdot 10^{-11}$

Окончание таблицы

1	2	3
3	$O^+(^4S) + N_2 \rightarrow NO^+ + N$	$2 \cdot 10^{-12}$
4	$H^+ + O \rightarrow O^+(^4S) + H$	$3,5 \cdot 10^{-10} (T_{эф}/300)^{0,5}$
5	$O^+(^2D) + O \rightarrow O^+(^4S) + O$	$< 0,3 \cdot 10^{-11}$
6	$O^+(^2D) + N_2 \rightarrow O^+(^4S) + N_2$	$(7 \pm 3) \cdot 10^{-11}$
7	$O^+(^2P) + O \rightarrow O^+(^4S) + O$	$(5,2 \pm 2,5) \cdot 10^{-11}$
8	$O^+(^2P) \rightarrow O^+(^4S) + hv_{2470}$	$A = 0,047 c^{-1}$
9	$N_2^+ + O \rightarrow O^+(^4S) + N_2$	$1 \pm 0,3 \cdot 10^{-12} (300/T)^{0,23}$
10	$O^+(^2P) \rightarrow O^+(^2D) + hv$	$A = 0,05 c^{-1}$
11	$O^+(^2D) + N_2 \rightarrow N_2^+ + O$	$(7 \pm 3) \cdot 10^{-11}$
12	$O^+(^2D) + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$	$7 \cdot 10^{-10}$
13	$O^+(^2P) + N_2 \rightarrow N_2^+ + O$	$(4,8 \pm 1,4) \cdot 10^{-10}$
14	$O^+(^2P) + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$	$4,8 \cdot 10^{-10}$
15	$O_2^+ + e \rightarrow \begin{matrix} O(^1D) + O, p_1 = 0,9 \\ O(^1S) + O, p_2 = 0,1 \end{matrix}$	$2 \cdot 10^{-17} (300/T_e)^{1/2}$
16	$O_2^+ + N(^4S) \rightarrow NO^+ + O$	$1,8 \cdot 10^{-10}$
17	$O_2^+ + NO \rightarrow NO^+ + O_2$	$4,4 \cdot 10^{-10}$
18	$O_2^+(a^4\pi_u) + N_2 \rightarrow N_2^+ + O_2$	$4 \cdot 10^{-10}$
19	$O_2^+(a^4\pi_u) + O_2 \rightarrow O_2^+(x^2\pi_g) + O_2$	$5,1 \cdot 10^{-10}$
20	$N_2^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + N_2$	$5 \cdot 10^{-11}$
21	$N_2^+ + O \rightarrow NO^+ + N(^2D)$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-10} (300/T)^{0,44}$
22	$N_2^+ + e \rightarrow N(^2D) + N$	$2,5 \cdot 10^{-7} (300/T_e)^{0,5}$
23	$NO^+ + e \rightarrow \begin{matrix} N(^2D) + O, p_1 = 0,8 \\ N(^4S) + O, p_2 = 0,2 \end{matrix}$	$4,3 \cdot 10^{-7} (300/T_e)$

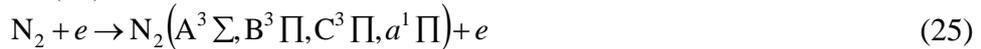
Ионизация O_2 приводит к нескольким возможным состояниям (24):



Этим состояниям соответствуют энергии $X^2 \Pi_g \sim 13eV$, $a^4 \Pi_u \sim 14eV$, $A^2 \Pi_u \sim 17eV$, $b^4 \Sigma_g^- \sim 18eV$. Переход из $b^4 \Sigma_g^-$ в $a^4 \Pi_u$ образует первую отрицательную систему. В таблице приведены предполагаемые коэффициенты реакций.

$A^3\Sigma_g^+$ является нижним электронным состоянием N_2 с энергией 6,5 eV. Переход из $A^3\Sigma_g^+$ в основное состояние $X^1\Sigma_g^+$ дает полосу (1,10) системы Вегарда-Каплана на $\lambda = 342,5$ нм. Наиболее сильной полосой такой системы является (1,0) на $\lambda = 886,0$ нм, что соответствует первой положительной системе $N_2(B^3\Pi_g - A^3\Sigma_u^+)$. Переход из $B^3\Pi_g$ в состояние $A^3\Sigma_u^+$ дает первую положительную систему полос $N_2(1\Pi_g)$ с $\lambda = 600-1050$ нм и наиболее сильно сопровождается потоками мягких электронов с энергией от единиц до десятков eV.

Реакция (25)



образует вышеотмеченные возбужденные состояния с энергиями $A^3\Sigma_u^+ \sim 6eV$, $B^3\Pi_g \sim 7eV$, $C^3\Pi \sim 1eV$, $a^1\Pi_g \sim 8,8eV$. Переход из $C^3\Pi$ в $B^3\Pi_g$ образует вторую положительную систему, а из $a^1\Pi_g$ в основное состояние $X^1\Sigma_g^+$ – систему Лаймана-Берджа-Хопфилда. Сечения возбуждения этих компонент приведены в таблице.

В настоящее время существует мало информации о фотохимических процессах колебательно-возбужденного кислорода O_2 . В таблице даны примерные схемы, составленные на основе современных представлений о фотохимических источниках и стоках O_2 .

Основными источниками образования $O^+(^2D)$ являются прямая ионизация и ионизация электронным ударом. Реакции (26) – (28) охлаждения $O^+(^2D)$ на N_2 являются экзотермическими:



Реакция $O^+(^2D)$ с N_2 – важный источник образования ионов N_2^+ . Большое время жизни радиоактивного состояния 2D позволяет предположить, что деактивация его происходит химическим путем, а не в результате излучения.

Переход из состояния 2P в состояние 2D для $O^+(^2D)$ сопровождается излучением с $\lambda = 732,0-733,0$ нм и в состояние 4S – излучением с $\lambda = 247,0$ нм, а время жизни радиоактивного состояния этой частицы составляет 4,57 с. Коэффициент ветвления в эмиссионном свечении мультиплета с $\lambda = 732,0$ нм равен 0,781 для $O^+(^2P)$.

Сечения поглощения и ионизации для образования $O^+(^2D)$ и $O^+(^2P)$ при фотоионизации приведены в таблице, результаты численных расчетов их высотных распределений в различные моменты времени – на рис. 2 а, б (НУ – начальные условия).

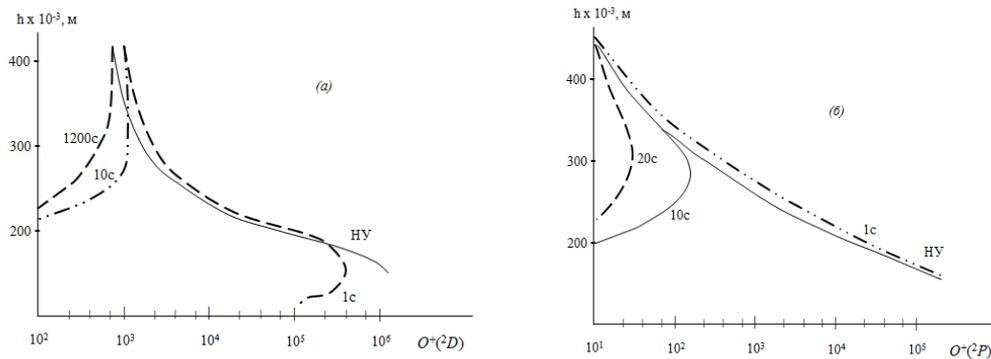


Рис. 2. Результаты численных расчетов высотных распределений положительных ионов $O^+(^2D)$ (a) и $O^+(^2P)$ (б)
 Fig. 2. The results of numerical calculations of the altitude distributions of positive ions $O^+(^2D)$ (a) и $O^+(^2P)$ (b)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлена постановка задачи численных расчетов высотно-временных распределений концентраций возбужденных ионных компонент. Предложенная модельная задача может быть доказательством численной устойчивости построенной модели по значениям входных параметров, а полученные результаты – реперными точками проверки экспериментальных данных как по концентрации, так и по интенсивности свечения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Medvedev, V. V. Mathematical Model for the Processes Ionosphere and Upper Atmosphere / V. V. Medvedev, D. I. Pyalov, O. V. Zamyatina // AIS-2010: Atmosphere, ionosphere, safety: book of Abstracts; Supported by Russian Foundation of Basic Research. – Kaliningrad, 2010. – Pp. 225-226.
2. Medvedev, V. V. Mathematical modelling for the processes mesosphere, thermosphere and ionosphere / V. V. Medvedev, O. V. Zamyatina // Physics of Auroral Phenomena 34th Annual Seminar Polar Geophysical Institute. – Apatity, 2011. – P. 49.
3. Медведев, В.В. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в ионосферной физике / В. В. Медведев, В. А. Телегин, В. Е. Еремичева // Инновации в науке, образовании и предпринимательстве - 2017: XV Междунар. науч. конф.: в 2 ч.: тез. докл. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – Ч. 2. – С. 90.
4. Медведев, В. В. Метастабильные компоненты в термосфере Земли / В. В. Медведев, В. А. Телегин, В. Е. Еремичева // Инновации в науке, образовании и предпринимательстве - 2017: XV Междунар. науч. конф.: в 2 ч.: тез. докл. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – Ч. 2. – С. 91.
5. Медведев, В. В. Результаты численного расчета высотного распределения кислородных компонентов верхней атмосферы Земли / В. В. Медведев, В. Е. Еремичева, И. В. Тимофеева // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3. – Т. 1. – С. 163-167.

REFERENCES

1. Medvedev V. V., Pyalov D. I., Zamyatina O. V. Mathematical Model for the Processes Ionosphere and Upper Atmosphere [Matematicheskaya model' protsessov ionosfery i verkhney atmosfery]. AIS-2010: Atmosphere, ionosphere, safety: book of

Abstracts; Supported by Russian Foundation of Basic Research [Atmosfera, ionosfera, bezopasnost'-2010: tezisy dokladov, pri podderzhke Rossiyskogo fonda fundamental'nykh issledovaniy]. Kaliningrad, 2010, pp. 225-226.

2. Medvedev V. V., Zamyatina O. V. Mathematical modelling for the processes mesosphere, thermosphere and ionosphere [Matematicheskoe modelirovanie protsessov mezofery, termosfery i ionosfery]. *Physics of Auroral Phenomena 34th Annual Seminar Polar Geophysical Institute* [Fizika polyarnykh yavleniy: 34-y Ezhegodnyy seminar Polyarnogo geofizicheskogo instituta]. Apatity, 2011, p. 49.

3. Medvedev V. V., Telegin V. A., Eremicheva V. E. Matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nyy eksperiment v ionosfernoy fizike [Mathematical Modeling and Computing Experiment in Ionospheric Physics]. *V Mezhdunarodnyy Baltiyskiy morskoy forum: XV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve - 2017»: tezisy dokladov. Chast' 2* [V International Baltic Maritime Forum. XV International scientific conference «Innovations in science, education and entrepreneurship-2017»: abstracts. Part 2]. Kaliningrad, Publ. BGARF, 2017, p. 90.

4. Medvedev V. V., Telegin V. A., Eremicheva V. E. Metastabil'nye komponenty v termosfere Zemli [Metastable Components in the Earth Thermosphere]. *V Mezhdunarodnyy Baltiyskiy morskoy forum: XV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve - 2017»: tezisy dokladov. Chast' 2* [V International Baltic Maritime Forum. XV International scientific conference «Innovations in science, education and entrepreneurship-2017»: abstracts. Part 2]. Kaliningrad, Publ. BGARF, 2017, p. 91.

5. Medvedev V. V., Eremicheva V. E., Timofeeva I. V. Rezul'taty chislennogo rascheta vysotnogo raspredeleniya kislorodnykh komponentov verkhney atmosfery Zemli [Results of numerical calculation of the altitude distribution of oxygen components of the Earth upper atmosphere]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, vol. 1, no. 3, pp. 163-167.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Медведев Владимир Васильевич – Калининградский государственный технический университет; доктор физико-математических наук; профессор кафедры информатики и информационных технологий; E-mail: vmedvedev2012@list.ru

Medvedev Vladimir Vasilevich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Physical and Mathematical Sciences; Professor, Department of Informatics and Information Technologies; E-mail: vmedvedev2012@list.ru

Тимофеева Ирина Витальевна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры информатики и информационных технологий; E-mail: ivt0610@mail.ru

Timofeeva Irina Vitalievna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor, Department of Informatics and Information Technologies; E-mail: ivt0610@mail.ru

Еремичева Виктория Евгеньевна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры информатики и информационных технологий; E-mail: viksik@mail.ru

Eremicheva Viktoriia Evgenievna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor, Department of Informatics and Information Technologies; E-mail: viksik@mail.ru

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК

УДК 332.1

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПОДДЕРЖКИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В. А. Малий

ANALYSIS OF MODERN METHODS AND STATE SUPPORT TOOLS
OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

V. A. Maliy

В статье рассматривается современное состояние агропромышленного комплекса Российской Федерации. Проводится анализ используемых инструментов и механизмов государственной поддержки сельхозтоваропроизводителей, таких как субсидирование, кредитование и страхование, изучаются особенности применения и факторы, снижающие их эффективность. Анализируется развитие агропромышленного комплекса в период 2010-2020 гг., в том числе исследуются рентабельность и убыточность предприятий агропромышленного комплекса с учетом и без учета выделяемых субсидий. Проанализированы нововведения в государственном регулировании агропромышленного комплекса с применением сравнительного и аналитического методов, а также метода обобщения, нормативно-правовая база. Использовались данные статистической отчетности. В статье разработаны рекомендации по повышению эффективности развития агропромышленного комплекса Российской Федерации и привлечению инвестиций, в частности за счет развития страхования сельскохозяйственной продукции с использованием механизма взаимного страхования, модернизации форм государственно-частного партнерства, применяемых в АПК.

агропромышленный комплекс Российской Федерации, государственная поддержка, кредитование агропромышленного комплекса, государственно-частное партнерство, инновационные кластеры, агропромышленные кластеры, общества взаимного страхования

The article considers the current state of the agro-industrial complex of the Russian Federation. Analysis of tools and mechanisms of state support for agricultural producers, such as subsidies, lending and insurance is being carried out. Peculiarities of using these tools and factors that reduce their effectiveness is being studied. The analysis of the agro-industrial complex development during the period of 2010-2020 is being conducted, including the study of profitability and loss-making of the agro-industrial complex enterprises, considering and without taking into account the allocated subsidies. The analysis of innovations in the state regulation of the agro-industrial complex is carried out. During this study, the following methods have been used: a comparative, analytical, generalization method. The analysis of the regulatory framework has been carried out; the statistical reporting data has been used. The article has developed recommendations on improving the efficiency of the agro-industrial

complex of the Russian Federation and attracting investments by developing agricultural insurance using the mutual insurance mechanism, as well as modernizing the forms of public-private partnership used in the agro-industrial complex.

agro-industrial complex of the Russian Federation, state support, lending to the agro-industrial complex, public-private partnerships, innovative clusters, agro-industrial clusters, mutual insurance societies

Агропромышленный комплекс является одной из важнейших отраслей экономики Российской Федерации. Более того, в связи с напряженной политической обстановкой, а также введением экономических санкций роль агропромышленного комплекса возросла. Анализ темпов прироста объемов производства различных секторов экономики показал, что в 2016 г. именно сельское хозяйство стало лидером по данному показателю. Реализация сельскохозяйственной продукции в 2016 г. увеличилась на 8,6 % в сравнении с аналогичным показателем по итогам 2015 г. [1].

Рассматривая современное состояние агропромышленного комплекса Российской Федерации, стоит отметить, что обеспечение экономического роста на данном этапе практически невозможно без государственной поддержки и контроля. Главной причиной трудностей в развитии АПК являются ограниченные собственные финансовые ресурсы, необходимые для саморазвития отрасли. Кроме того, эффективное развитие отрасли затрудняется следующими факторами:

- использование устаревших технологий производства и переработки продукции;
- консервативность и ограниченные возможности отрасли к адаптации в новых условиях хозяйствования;
- наличие фактора сезонности в производственном процессе;
- низкая рентабельность в отдельных сферах агропромышленного комплекса.

Целью данного исследования является изучение механизмов государственной поддержки агропромышленного комплекса, а также анализ факторов, оказывающих негативное влияние на развитие отрасли.

Актуальность темы исследования обусловлена ростом конкуренции в агропромышленной сфере в условиях ограничений на использование инструментов, направленных на защиту собственных производителей, накладываемых на страны, входящие во Всемирную торговую организацию (ВТО).

В настоящее время государством в нашей стране осуществляется более 30 различных видов поддержки сельхозтоваропроизводителей [2]. Рассматривая виды государственной поддержки агропромышленного комплекса, следует отметить, что одним из основных ее направлений в настоящее время является разработка и реализация государственных и региональных программ, направленных на развитие и поддержку села. Данные программы предполагают использование как прямой (финансовая поддержка сельхозтоваропроизводителей), так и косвенной поддержки (привлечение инвестиций в отрасль, помощь в восстановлении оборотных средств предприятий, устранение недобросовестных посредников в цепочке контрагентов, изменение условий кредитования сельскохозяйственных организаций и др.) [2].

Помимо этого государственная поддержка АПК в настоящее время представлена следующими инструментами:

- налоговое стимулирование;
- непосредственная финансовая помощь сельхозтоваропроизводителям, в том числе погектарная поддержка, субсидирование долгосрочных кредитов;
- поддержка начинающих фермеров (в том числе гранты до 1,5 млн. руб. на создание хозяйств и субсидирование первого взноса по лизингу сельхозтехники) [3].

Анализ опыта зарубежных стран позволяет выделить тот факт, что по мере укрепления позиций агропромышленного комплекса основным источником финансирования развития сельскохозяйственных организаций становятся частные инвестиции, росту которых способствует повышение рентабельности и самоокупаемости отрасли. Однако в Российской Федерации на современном этапе пока не сформированы условия для устойчивого замещения государственного финансирования АПК частными источниками финансирования.

Рассматривая такой инструмент государственной поддержки АПК, как субсидирование, следует отметить, что многие проблемы в настоящее время остаются нерешёнными, например, значительный объем субсидий направляется на поддержку животноводства, в то время как на сферу кормопроизводства субсидии практически не выделяются. Нерациональное распределение субсидий также заключается в недостаточности финансовой поддержки сферы реконструкции и модернизации основных средств отрасли.

Структура бюджетных средств, выделяемых на поддержку животноводства и растениеводства в период 2013-2020 гг., приведена на рис. 1 [4].



Рис. 1. Динамика бюджетной поддержки развития растениеводства и животноводства в 2013-2020 гг., млрд. руб.

Fig. 1. Dynamics of budget support for the crop production and livestock development in 2013-2020, billion rubles

Согласно полученным данным можно сделать вывод, что большая часть средств выделяется на поддержку растениеводства (совокупный размер бюджетных средств за исследуемый период 555,4 млрд. руб., в то время как на животноводство выделено 346,4 млрд. руб.) [3]. Данную диспропорцию можно объяснить высокими рисками данного вида деятельности, например, зависимостью от климатических условий. Стоит отметить, что в развитых странах ущерб от природных бедствий и чрезвычайных ситуаций компенсируется за счет использования механизма страхования.

Кроме того, тенденция сокращения объемов государственной поддержки, выделяемой на животноводство (в основном средства выделяются на развитие молочного скотоводства), отражает уверенность государства в возможном достижении самокупаемости отрасли, а также замещении государственных субсидий собственными или кредитными средствами.

При этом государственная поддержка животноводства носит адресный характер, что позволяет сделать вывод о возможных структурных реформах отрасли в будущем. Например, объем денежных средств, выделяемых на поддержку молочного скотоводства, в 3 раза превышает объем субсидий, направленных на развитие мясного скотоводства (рис. 2) [3].

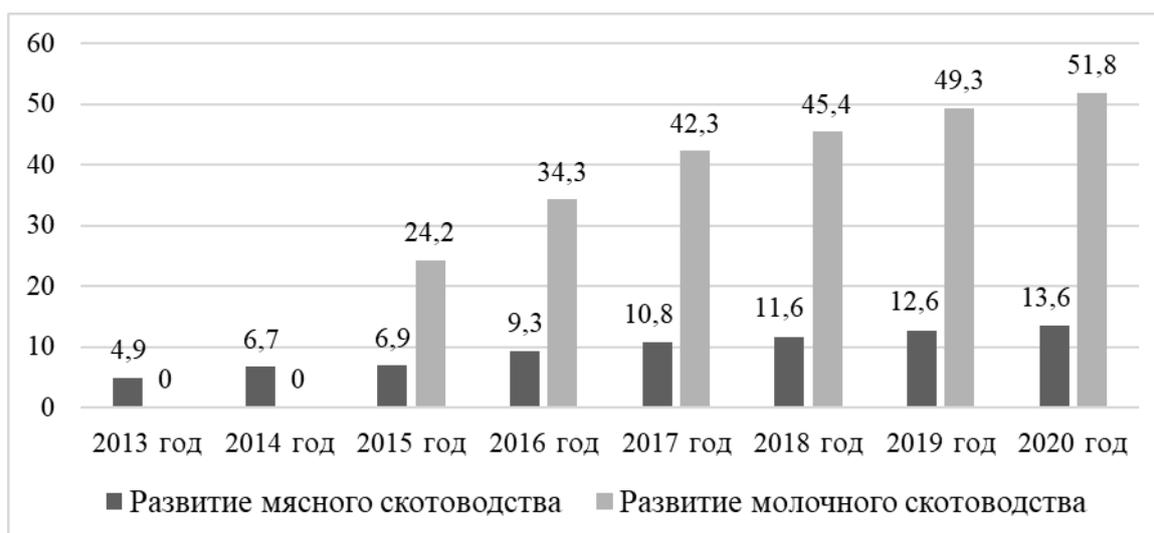


Рис. 2. Динамика бюджетной поддержки развития молочного и мясного скотоводства в 2013-2020 гг., млрд. руб.

Fig. 2. Dynamics of budget support for the dairy and beef cattle development in 2013-2020, billion rubles

Однако положительный тренд снижения государственного участия в отраслях животноводства в 2013-2015 гг. с 4,1 до 1,3 %, а также в растениеводстве с 3,5 до 1,9 % сменился незначительным повышением данного показателя в 2015-2016 гг. с 1,3 до 1,6 % в животноводстве и с 1,8 до 1,9 % в растениеводстве (табл. 1) [5].

Несмотря на рост производственных показателей агропромышленного комплекса, основной проблемой 2017-2018 гг. может стать несоответствие спроса и предложения, связанное в первую очередь со снижением покупательной способности граждан [6]. Данная тенденция оказывает негативное влияние на

отрасль, так как вследствие снижения спроса происходит переполнение рынка сельскохозяйственной продукции и снижение цен.

Таблица 1. Соотношение объема производства и бюджетной поддержки сельского хозяйства в 2015-2016 гг.

Table 1. The ratio of production and budgetary support to agriculture in 2015-2016

Период, год	Произведено продукции, млрд. руб.	Объем господдержки, млрд. руб.	Доля господдержки в объеме производства, %
Животноводство			
2013	1 768,3	72,3	4,1
2014	2096,6	57,4	2,8
2015	2374,3	30,7	1,3
2016	2455,5	40	1,6
Растениеводство			
2013	1 919,8	67,5	3,5
2014	2 156,5	39,3	1,8
2015	2791,4	51,8	1,9
2016	3170,5	61,7	1,9

Отдельным самостоятельным направлением государственной поддержки агропромышленного комплекса Российской Федерации является развитие малых форм хозяйствования. За исследуемый период изменилась структура отрасли по категориям хозяйств. Так, количество личных подсобных хозяйств занимает все меньшую долю в общей структуре отрасли, в то время как динамика изменения сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств довольно оптимистична (табл. 2) [5].

Таблица 2. Показатели динамики производства сельскохозяйственной продукции различными типами хозяйств в 2011-2014 гг., %

Table 2. Indicators of the agricultural production dynamics by different types of farms in 2011-2014, %

Показатель	Годы					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Хозяйства всех категорий	100	100	100	100	100	100
в том числе:						
- сельскохозяйственные организации	47,2	47,9	47,6	49,5	51,5	52,8
- хозяйства населения	43,8	43,2	42,6	40,5	37,4	34,7
- крестьянские (фермерские) хозяйства	9,0	8,9	9,8	10,0	11,1	12,5

Стоит отметить, что, несмотря на вышеуказанный факт сокращения личных хозяйств, численность населения сельской местности в последние годы увеличивается. Так, в 2011 г. данный показатель составлял 37,5 млн. чел., в то время как в 2016 г. он достиг отметки 37,9 млн. чел. В первую очередь позитивный тренд связан с эффективной государственной поддержкой, направленной на развитие сельских территорий. Совокупный объем средств,

выделенных из государственного бюджета на развитие и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, а также самой отрасли на 2013-2020 гг., отражен на рис. 3 [4].

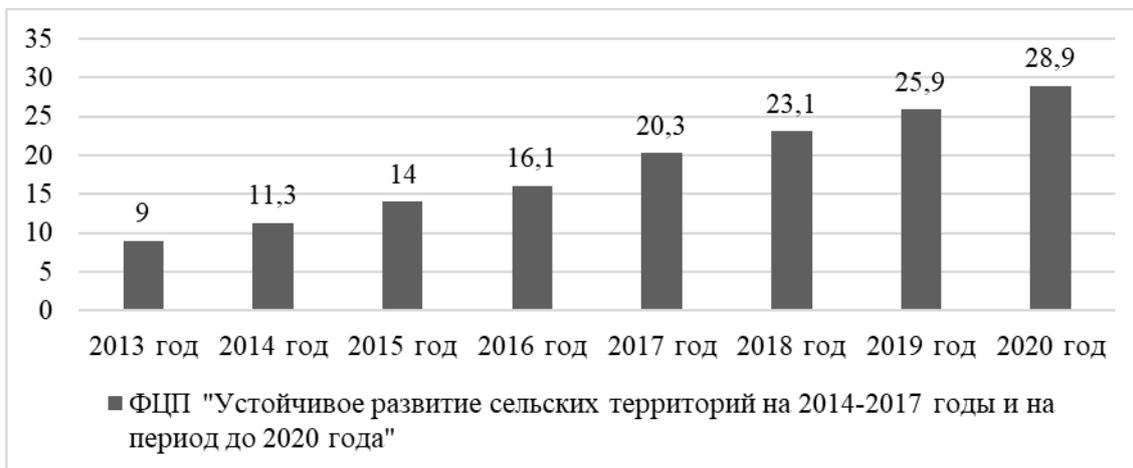


Рис. 3. Динамика бюджетной поддержки на обеспечение устойчивого развития сельских территорий в 2013-2020 гг., млрд. руб. [9]

Fig. 3. Dynamics of budgetary support for sustainable development of rural areas in 2013-2020, billion rubles [5]

Обратим внимание на то, что более 229 млрд. руб. расходуется на административно-управленческую составляющую программы. Данный показатель практически в 2 раза превышает объем средств, выделяемых на поддержку малых форм хозяйствования. Таким образом, можно сделать вывод о значительных управленческих издержках и затратоемкости применяемой программы (рис. 4) [5].

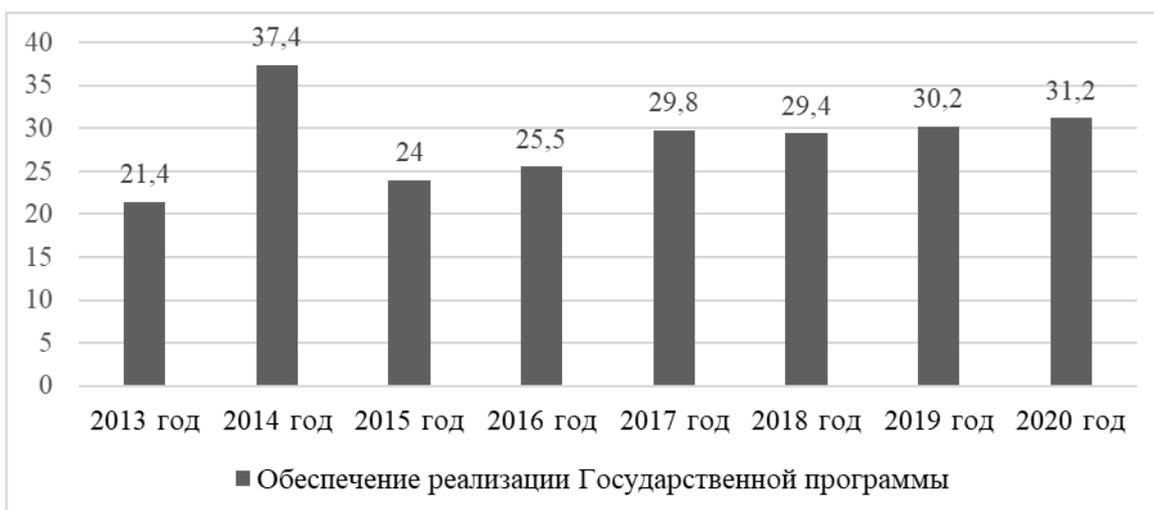


Рис. 4. Динамика бюджетной поддержки на реализацию Госпрограммы поддержки сельского хозяйства в 2013-2020 гг., млрд. руб.

Fig. 4. Dynamics of budgetary support for the implementation of the State Programme for Support of Agriculture in 2013-2020, billion rubles

В ходе исследования были рассмотрены итоговые значения результата финансовой деятельности сельскохозяйственных организаций в зависимости от объема субсидий, выделенных из государственного бюджета (рис. 5) [5]. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что за исключением 2012 и 2014 гг. без государственной поддержки отрасль характеризовалась бы общим убытком, а совокупный финансовый результат предприятий был бы отрицательным. Зависимость воздействия негативных факторов внешней среды на показатели деятельности сельскохозяйственных предприятий с учетом и без учета государственной поддержки отражена на рис. 5.



Рис. 5. Совокупный финансовый результат сельскохозяйственных организаций с учетом и без учета предоставленных субсидий в 2010-2014 гг.

Fig. 5. Aggregate financial result of agricultural organizations, taking into account and excluding the subsidies granted in 2010-2014

Наибольший убыток в отрасли наблюдался в 2010 г. в момент выхода Российской Федерации из экономического кризиса, кроме того, 2013 г. также характеризовался высокими убытками в связи с неблагоприятными погодными условиями и гибелью урожая в 2012 г. [7]. Однако за счет средств, выделяемых из государственного бюджета на поддержку отрасли, совокупный финансовый результат сельскохозяйственных организаций во все годы исследуемого периода имел положительную динамику. Данный факт еще раз подтверждает нестабильность совокупного финансового результата отрасли, ее зависимость от внешних условий и факторов, а также необходимость государственной поддержки агропромышленного комплекса. В 2016 г. с учетом субсидий из государственного бюджета прибыль до налогообложения сельскохозяйственных предприятий составляла 359,2 млрд. руб., данный показатель на 7,6% ниже аналогичного показателя 2015 г. [9]. Однако доля прибыльных организаций в отрасли составила 87,4 %, что на 2,6 % превышает показатель 2015 г. [8].

Изменения уровня рентабельности сельскохозяйственных предприятий в анализируемом периоде приведены на рис. 6 [8].

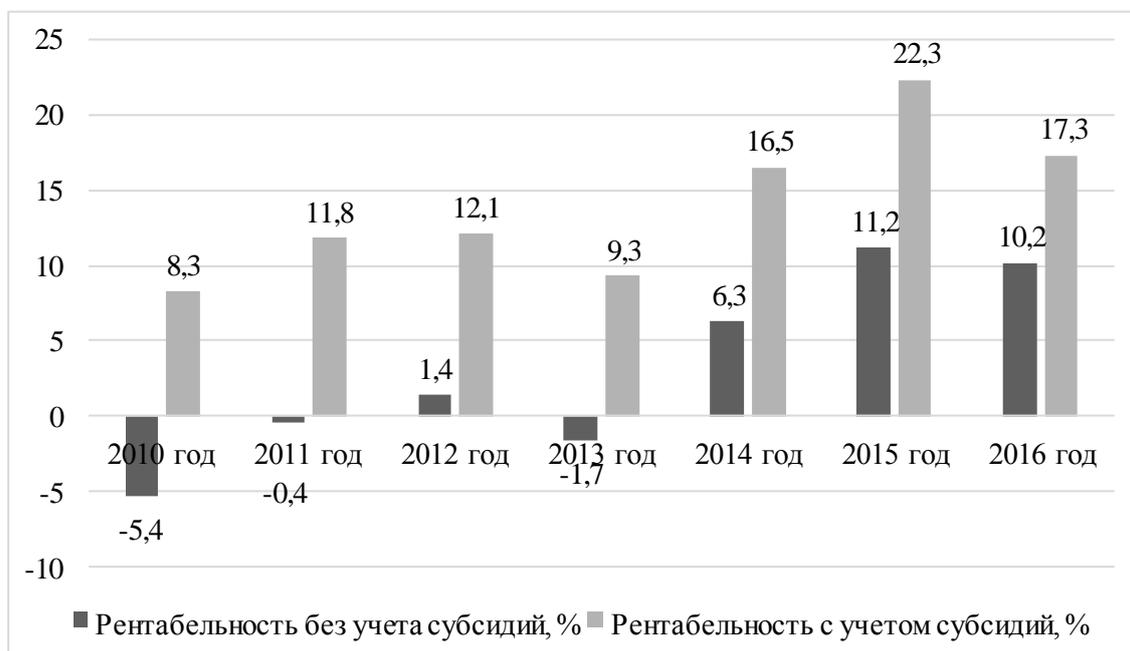


Рис. 6. Динамика рентабельности деятельности сельскохозяйственных организаций с учетом и без учета предоставленных субсидий в 2010-2014 гг. [9, с. 38-39]

Fig. 6. Dynamics of the agricultural organizations profitability, taking into account and excluding the subsidies granted in 2010-2014 [9, p. 38-39]

Полученные данные позволяют сделать вывод, что на протяжении практически всего анализируемого периода отрасль, без учета субсидий из государственного бюджета, характеризуется отсутствием либо низкой рентабельностью.

Но политика по импортозамещению, активно применяющаяся с момента введения экономических санкций, в совокупности с другими инструментами государственной поддержки агропромышленного комплекса позволила повысить уровень рентабельности сельскохозяйственных организаций в 2014 и 2015 гг. Данная позитивная тенденция отмечается во многих отраслях АПК, в том числе, рыбном хозяйстве [3].

Согласно данным сводной отчетности о результатах финансово-хозяйственной деятельности рентабельность предприятий сельскохозяйственной отрасли в 2016 г. составила 17,3 % с учетом субсидий из государственного бюджета, что превышает целевой показатель на 4,3 %.

Аналогичный показатель без учета субсидий в 2016 г. составил 10,2 %, что на 1,6 % ниже, чем в 2015 г. [8]. Основной причиной снижения рентабельности в данном случае является понижение покупательной способности граждан.

В завершение стоит рассмотреть уровень объемов кредитования сельского хозяйства, так как данный инструмент наряду с непосредственной поддержкой государства направлен на решение проблем сельскохозяйственных предприятий (рис. 7) [10].

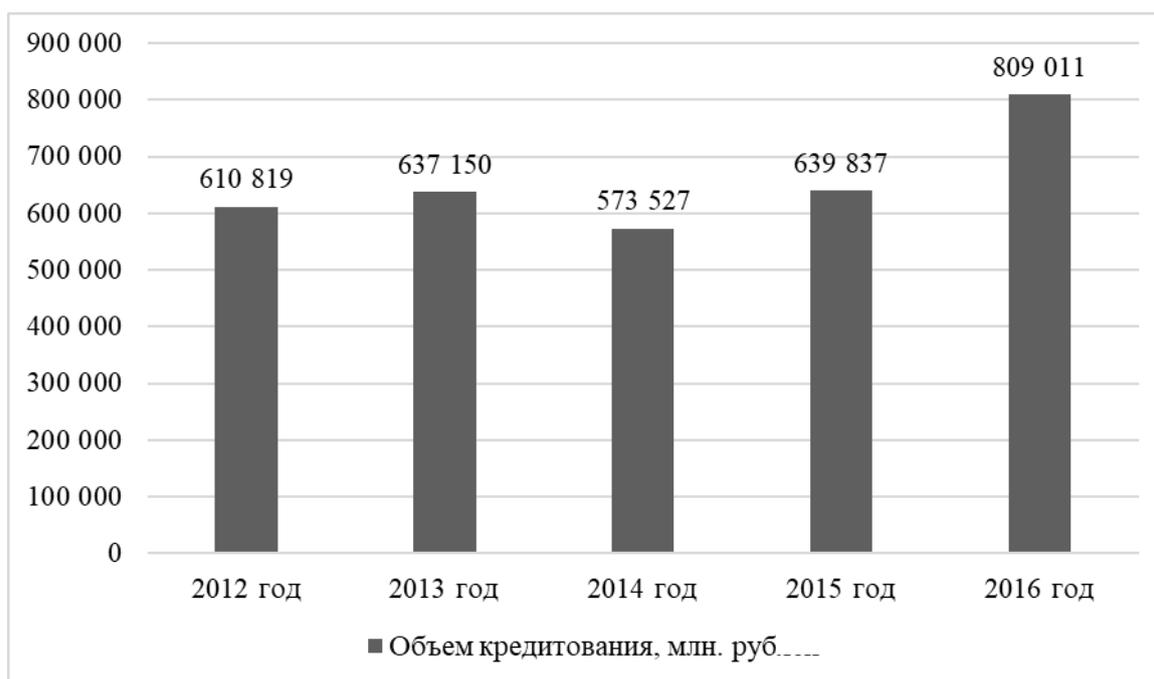


Рис. 7. Динамика объемов кредитования сельского хозяйства в 2012-2016 гг. [9, с. 56]

Fig. 7. Dynamics of lending to agriculture in 2012-2016 [9, p. 56]

Как видно из рис. 7, после снижения в 2014 г. объемов кредитования на 10 % к 2013 г. они имеют тенденцию к увеличению.

Стоит отметить и нововведения, действующие в сфере государственной поддержки АПК, начиная с 1 января 2017 г., и направленные на повышение ее эффективности [4].

Так, у товаропроизводителей, занятых в сельскохозяйственной отрасли (включая производство, переработку и реализацию продукции), появилась возможность получить краткосрочный кредит по ставке 5 %. В случае недополучения кредитными организациями доходов возмещение потерь происходит напрямую из средств федерального бюджета.

Кроме того, была проведена консолидация субсидий, в результате которой их количество сократилось с 54 до 7, а регионам предоставлено право определять направления государственной поддержки отрасли.

Однако, несмотря на достижения в области агропромышленного комплекса, а также его стабилизацию в 2016-2017 гг., у экспертов остаются опасения по поводу экономической эффективности отрасли в 2018-2020 гг. Нами были выявлены основные факторы, способные оказать негативное влияние на эффективность развития отрасли. К ним относятся:

- снижение покупательной способности и, как следствие, потребительского спроса;
- зависимость отрасли от внешних факторов;
- высокие издержки на административно-управленческий аппарат;
- снижение доступности банковских кредитов;
- низкая ликвидность залога, быстрый износ залоговой стоимости;

- длительные сроки окупаемости (в среднем 10-15 лет);
- высокие тарифы сельскохозяйственного страхования.

Кроме того, следует не забывать о вероятности снятия экономических санкций в будущем, что приведет к притоку иностранной продукции на отечественный рынок. В настоящее время без эффективной поддержки сельскохозяйственных организаций, направленной на рост их производительности и конкурентоспособности, данный риск может привести к стагнации отрасли.

Таким образом, анализ показателей деятельности российских агропромышленных организаций и государственной поддержки отрасли показал существенную зависимость предприятий от бюджетных средств.

Сегодня, наряду с уже применяемыми методами государственной поддержки отрасли, необходимо обращать внимание и на решение выявленных выше проблем отрасли. Кроме того, важной задачей является замещение государственных средств частными инвестициями, например, за счет использования инструментов государственно-частного партнерства.

Полученные результаты исследования позволяют сформировать следующие рекомендации, направленные на решение вышеуказанных проблем отрасли.

Поддержка агропромышленного комплекса должна заключаться не только в расширении субсидий и льгот, предоставляемых предприятиям, но и посредством развития агропромышленного страхования. Количество хозяйств, принявших участие в страховании урожая сельскохозяйственных культур и посадок многолетних насаждений с государственной поддержкой, в 2016 г. было меньше на 66,8 % по сравнению с 2015 г. Величина данного показателя минимальная за последние пять лет – 913 хозяйств [9]. В первую очередь данная тенденция связана с ростом страховых премий. Даже несмотря на наличие страхования с государственным участием все меньше предприятий используют инструменты страхования. Обоснованным решением данной проблемы является внедрение механизма взаимного страхования агропромышленных организаций. Взаимное страхование основано на договоренности внутри группы физических, юридических лиц о возмещении убытков, возникших в результате случайных событий, за счет средств страхового фонда, который сформирован из взносов участников взаимного страхования. Данный инструмент является довольно распространённым методом во многих странах и демонстрирует положительные результаты. Плюсами обществ взаимного страхования являются:

- взнос остается в распоряжении дольщика. Он может выйти из общества когда ему вздумается и забрать с собой все деньги, которые он внес;
- право самостоятельно выбирать банк, где будут храниться деньги (взнос);
- контроль каждого участника над всеми финансовыми потоками общества;
- минимальное налогообложение, поскольку общества взаимного страхования – некоммерческая структура.

Таким образом, использование обществ взаимного страхования позволит повысить долю застрахованных хозяйств в условиях ограниченных собственных средств предприятий.

Еще одним направлением государственной поддержки АПК должна стать модернизация применяемых форм государственно-частного партнерства. Так, размер частных инвестиций в отрасль в настоящее время невелик. В первую очередь это связано с высоким риском отрасли и долгими сроками окупаемости. Бизнес не заинтересован вкладывать средства в развитие отрасли в текущих условиях. Следовательно, для того чтобы максимально привлечь финансовые ресурсы в АПК, а также с целью развития инновационной системы, необходимо разрабатывать и внедрять такие агропромышленные формирования кластерного типа, в которых риск инвесторов сводился бы к минимуму, например, в форме инновационных кластеров. При использовании данной формы взаимодействия актуальными становятся контракты жизненного цикла, способствующие воспроизводству и реконструкции основных фондов отрасли. Проекты с применением механизмов ГЧП на начальном этапе должны опираться на административный ресурс и средства государства, однако, когда проект начнет приносить прибыль, частные инвесторы должны погашать долю вложенных государственных средств с возможностью полной приватизации имущественного комплекса. Применение такой формы государственно-частного партнерства позволит привлечь больше инвестиций в отрасль за счет снижения рисков бизнеса.

Таким образом, предложенные нами механизмы позволят в перспективе снизить объем денежных средств, выделяемых из государственного бюджета на поддержку отрасли, привлечь частные инвестиции, способствовать аккумулированию собственных средств у сельхозтоваропроизводителей, что в итоге приведет к общему повышению эффективности и конкурентоспособности российского АПК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии) // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516
2. Питерская, Л. Ю. Государственное регулирование воспроизводственных процессов в аграрном секторе экономики / Л. Ю. Питерская, Н. А. Тлишева. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2015. – 257 с.
3. Государственная поддержка // Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: <http://mcx.ru/activity/state-support/>
4. О внесении изменений в государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы // Официальный сайт Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/docs/16239/>
5. Финансово-экономические показатели Российской Федерации // Официальный сайт Министерства Финансов Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minfin.ru/ru/statistics/>

6. Волкогон, В. А. Целевое программирование и инвестиции в основной капитал рыбопромышленного комплекса / В. А. Волкогон, В. И. Кузин // Балтийский экономический журнал. – 2016. – № 2 (16). – С. 47-54.

7. Мнацаканян, А. Г. Оценка влияния санкций и контрсанкций на состояние и развитие российского рыбохозяйственного комплекса / А. Г. Мнацаканян, Р. А. Мнацаканян, О. В. Корнева // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 31-37.

8. Официальная статистика Федеральной службы государственной статистики // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/

9. Статистические данные по страхованию урожая сельскохозяйственных культур, урожая и посадок многолетних насаждений и сельскохозяйственных животных с государственной поддержкой в 2012-2016 гг. // Официальный сайт Федерального агентства по государственной поддержке деятельности агропромышленного комплекса. [Электронный ресурс]. – URL: <http://fagps.ru/>

10. Объем кредитов, предоставленных юридическим лицам - резидентам и индивидуальным предпринимателям в рублях, по видам экономической деятельности и отдельным направлениям использования средств // Официальный сайт Центрального Банка Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: http://cbr.ru/statistics/UDStat.aspx?TblID=302-01&pid=pr&sid=ITM_27910

REFERENCES

1. Byulleteni o sostoyanii sel'skogo khozyaystva [Newsletters on the state of agriculture]. Ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki, available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516 (Accessed 25 November 2017).

2. Piterskaya L. Yu. *Gosudarstvennoe regulirovanie vosproizvodstvennykh protsessov v agrarnom sektore ekonomiki* [State Regulation of Reproductive Processes in the Agrarian Sector of the Economy]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2015, 257 p

3. Gosudarstvennaya podderzhka [Government support]. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, available at: <http://mex.ru/activity/state-support/> (Accessed 23 November 2017).

4. O vnesenii izmeneniy v gosudarstvennyuyu programmu razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013-2020 gody [On Amendments to the State Programme for the Development of Agriculture and Regulation of the Markets of Agricultural Products, Raw Materials and Food for 2013-2020]. Ofitsial'nyy sayt Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii, available at: <http://government.ru/docs/16239/> (Accessed 23 November 2017).

5. Finansovo-ekonomicheskie pokazateli Rossiyskoy Federatsii [Financial and economic indicators of the Russian Federation]. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva Finansov Rossiyskoy Federatsii, available at: <https://www.minfin.ru/ru/statistics/> (Accessed 24 November 2017).

6. Volkogon V. A., Kuzin V. I. Tselevoe programmirovaniye i investitsii v osnovnoy kapital rybopromyshlennogo kompleksa [Targeted programming and

investment in fixed assets of the fisheries complex]. *Baltiyskiy ekonomicheskii zhurnal*, 2016, no. 2 (16), pp. 47-54.

7. Mnatsakanyan A. G., Mnatsakanyan R. A., Korneva O. V. Otsenka vliyaniya sanktsiy i kontrsanktsiy na sostoyanie i razvitie rossiyskogo rybokhozyaystvennogo kompleksa [Assessment of the impact of sanctions and counter-sanctions on the state and development of the Russian fisheries complex]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2017, no. 2, pp. 31-37.

8. Ofitsial'naya statistika Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki [Official statistics of the Federal State Statistics Service]. Ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki, available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/ (Accessed 24 November 2017).

9. Statisticheskie dannye po strakhovaniyu urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur, urozhaya i posadok mnogoletnikh nasazhdeniy i sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh s gosudarstvennoy podderzhkoy v 2012-2016 gg. [Statistical data on crop insurance, crop and planting of perennial plantations and farm animals with government support in 2012-2016]. Ofitsial'nyy sayt Federal'nogo agenstva po gosudarstvennoy podderzhke deyatel'nosti agropromyshlennogo kompleksa, available at: <http://fagps.ru/> (Accessed 25 November 2017).

10. Ob'em kreditov, predostavlennykh yuridicheskim litsam-rezidentam i individual'nym predprinimatel'nyam v rublyakh, po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti i ot del'nym napravleniyam ispol'zovaniya sredstv [The volume of loans granted to legal entities - residents and individual entrepreneurs in rubles, by types of economic activities and particular areas of funds use]. Ofitsial'nyy sayt Tsentral'nogo Banka Rossiyskoy Federatsii, available at: http://cbr.ru/statistics/UDStat.aspx?TblID=302-01&pid=pr&sid=ITM_27910 (Accessed 23 November 2017).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Малий Виктор Андреевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Финансы и кредит»;
E-mail: 9052474127vm@gmail.com

Maliy Victor Andreevich – Kaliningrad State Technical University;
post-graduate student; E-mail: 9052474127vm@gmail.com

УДК 339.172

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ТОВАРНЫХ БИРЖ,
СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА ТОРГОВЛЕ ЗЕРНОМ, В РАМКАХ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО
РЫНКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д. С. Панарина

THE DEVELOPMENT OF COMMODITY EXCHANGES, WHICH SPECIALIZE
IN GRAINE TRADE, WITHIN CONDITIONS OF THE STATE SUPPORT
AND REGUARION OF THE RUSSIAN GRAIN MARKET

D. S. Panarina

Научная статья посвящена обоснованию необходимости развития биржевого рынка зерна в Российской Федерации. Аргументируется важность зерновых и зернобобовых культур на внутреннем и внешнем рынках. Определяется отсутствие полноценной биржевой торговли зерновыми культурами в стране.

Актуальность выбранной тематики подчеркивается стратегической важностью рынка зерна для Российской Федерации, от эффективности развития которого зависит продовольственная безопасность страны. Для того чтобы этот рынок обеспечивал высокую результативность ведения хозяйственной деятельности всех его участников, необходимо понимать закономерности его развития, факторы, формирующие конъюнктуру, и параметры, характеризующие перспективный потенциал.

Определенную новизну представляют предложения автора по развитию институциональной среды рынка зерна. В статье приводится аргументированный анализ эффективности мер государственной поддержки, осуществляемой в Российской Федерации с 2001 г., определены провалы государственного вмешательства в рассматриваемую отрасль. На основании проведенного исследования сделаны предложения по корректировке инструментов государственного регулирования рынка зерна.

Представляется актуальным и необходимым для дальнейшего развития вопрос выделения факторов, определяющих спрос и предложение на зерно, который автор рассматривает в своей статье.

По результатам выполненного исследования предложены авторские формулировки предпосылок для стимулирования развития товарных бирж в Российской Федерации, специализирующихся на торговле зерном. Проведен корреляционно-регрессионный анализ, на основании которого сделан вывод о низкой степени зависимости между наличным рынком зерна в РФ и фьючерсами на зерно на крупнейших товарных биржах мира.

товарные биржи, зерновой комплекс, государственная поддержка сельского хозяйства, зерновые культуры

The scientific article is devoted to the determination of the necessity of development of the exchange market for grain in the Russian Federation. There are given arguments in favor to importance of cereals and leguminous crops in the domestic and foreign markets. It is determined that there is an absence of an integral grain crops exchange trade in the country.

The urgency of the chosen subjects is emphasized by the strategic importance of the grain market for the Russian Federation. The food security of the country depends on the effectiveness of the development of this market. In order to ensure high efficiency of economic activity for all the participants of the grain market, it is necessary to understand the laws of its development, the factors that shape its conjuncture and parameters that characterize its prospective potential.

There is a certain novelty in the author's proposals for the grain market institutional environment development. The article provides a reasoned analysis of the effectiveness of state support measures implemented in the Russian Federation since 2001, and the failures of state intervention into the industry. Based on the analysis, some proposals were made to adjust instruments for state regulation of the grain market.

It seems relevant and necessary identifying the variables that determine the supply and demand for grain for further development, issues the author raises in his article.

According to the results of the research, author has proposed some assertions of the prerequisites for stimulating the development of commodity exchanges in the Russian Federation specializing in grain trade. A correlation-regression analysis was conducted, according to which a conclusion was drawn on the low degree of dependence between the cash grain market in Russia and grain futures on the world's largest commodity exchanges.

commodity exchanges, grain complex, state support of agriculture, grain crops

ВВЕДЕНИЕ

Зерновые и зернобобовые культуры востребованы как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Продовольственное зерно служит сырьем для производства хлебопродуктов, которые необходимы повседневно и социально значимы для населения.

По итогам 2016 г. Россия нарастила производство зерновых культур до рекордно высокого показателя – 120,7 млн. т (+15,2% к 2015 г.), чему способствовало увеличение как посевных площадей, так и урожайности. Внутреннее потребление зерновых и зернобобовых культур в 2016–2017 гг. оценивается на уровне 71,8 млн. т (+2,7% к 2015–2016) и составляет 54% от общего предложения зерновых на сезон; причем 2017 г. охарактеризовался рекордным валовым сбором зерновых и зернобобовых культур – 134,1 млн. т в чистом весе, что больше по сравнению с 2016 г. (120,7 млн. т) на 11,2%, а со средним уровнем за последние пять лет (98,1 млн. т) на 35,3%. Кроме того, достигнутый показатель на 3,5% превысил исторический рекорд, зафиксированный в 1978 г. [1].

На сегодняшний день в Российской Федерации государственная поддержка агропромышленного комплекса осуществляется в рамках реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования

рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг. в форме предоставления субсидий субъектам РФ.

Помимо обеспечения продовольственной независимости, целью этой программы является повышение финансовой устойчивости сельскохозяйственных производителей, а следовательно, рентабельности сельского хозяйства. В свою очередь, специфических мер по росту доходности сельскохозяйственных товаропроизводителей в государственной программе не выделено. Как и в предыдущей программе, индикатор уровня рентабельности заявлен в пределах 10-15%, но в предшествующие годы он не способствовал выходу отрасли на расширенное воспроизводство. Согласно мнению академика РАСХН А.В. Петрикова, необходимый уровень рентабельности для расширенного воспроизводства составляет 20-35% [2].

Отметим, что в перечне направлений и целей государственной программы явным образом не выделяются как таковые создание инфраструктуры для развития зерновых бирж и поддержка в становлении организованного рынка (товарной биржи). В свою очередь, товарные биржи необходимы для выявления реального уровня рыночной цены. Производные финансовые инструменты, торгуемые на бирже, также могут выполнять функцию страхования цены (хеджирование рыночных рисков), для чего необходим постепенный переход на фьючерсную и опционную торговлю.

ОБЗОР ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ НА ЗЕРНОВОМ РЫНКЕ

Целью работы является обоснование необходимости развития биржевого рынка зерна в Российской Федерации; выделение основных проблем, препятствующих развитию и повышению доходности этого рынка. Автором проведен научный обзор публикаций, которые посвящены тенденциям и закономерностям в развитии рынка зерна как в Российской Федерации, так и в мире. Для целей проведения корреляционно-регрессионного анализа использовалась программа Microsoft Excel.

В действующей государственной программе по развитию сельского хозяйства выделены следующие направления: 1) развитие отраслей агропромышленного комплекса; 2) стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе; 3) техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие; 4) ФЦП «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы»; 5) ФЦП «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014 - 2017 годы и на период до 2020 года»; 6) федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2015 гг.; 7) государственная программа РФ «Развитие рыбохозяйственного комплекса» [3].

В свою очередь, Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120, определяет продовольственную безопасность Российской Федерации как состояние экономики страны, при котором обеспечивается продовольственная независимость РФ, гарантируется физическая и экономическая доступность для каждого гражданина страны пищевых продуктов, необходимых для активного и здорового образа жизни [4].

Отметим, что зерновому рынку присущ характер развития с экономическими циклами, не имеющими одинаковой продолжительности и интенсивности. Основными факторами неопределенности, влияющими на будущую ситуацию на зерновых рынках, являются: перспективы глобального экономического роста, рост народонаселения, государственная поддержка производителей зерна, условия глобальной торговли сельскохозяйственной продукцией и ограниченность площадей сельскохозяйственных угодий и водных ресурсов, экономически пригодных для выращивания зерновых, цены на энергоресурсы [5].

А. И. Алтухов в статье «Основные тенденции в развитии зернового хозяйства и рынок зерна в России» определяет, что неразвитость оптовых рынков, биржевой торговли, информационных систем и других элементов инфраструктуры, необходимых для устойчивой торговли зерном, способствует неоправданно большому числу посреднических звеньев на пути движения зерна от производителей к потребителям, выбросу часто заведомо необъективных данных. Это прямо или косвенно приводит к занижению цен на зерно, закупаемое у его производителей, завышению розничных цен на конечную продукцию для потребителей, существенно искажая реальные механизмы функционирования зернового рынка, вызывая неадекватную реакцию сельскохозяйственных товаропроизводителей, экономическую «лихорадку» зерновой подотрасли, а стало быть, и зернопродуктового подкомплекса в целом [6].

В свою очередь, для зернового комплекса Российской Федерации, по мнению авторов, характерны следующие проблемы, препятствующие его развитию и повышению эффективности:

- 1) слаборазвитая логистическая инфраструктура (недостаток зернохранилищ и элеваторов, изношенный вагонный парк и т.д.);
- 2) монополизация рынка предприятиями-гигантами, что значительно влияет на ценообразование в зерновом комплексе;
- 3) необходимость в доработке нормативно-правовой базы, регулирующей рынок;
- 4) отсутствие ликвидного организованного рынка (товарной биржи).

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ТОВАРНЫХ БИРЖ В РОССИИ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА ТОРГОВЛЕ ЗЕРНОМ

В рамках государственной программы, направленной на обеспечение финансовой устойчивости агропромышленного комплекса, выделяется только подпрограмма «Развитие финансово-кредитной системы агропромышленного комплекса». Её цель состоит в привлечении инвестиций и поддержании финансовой устойчивости данного комплекса. Подпрограмма ориентирована на акционерное общество «Россельхозбанк» (объем выданных им кредитов и остаток ссудной задолженности по кредитам).

В целях стабилизации цен на зерно и поддержания уровня доходов сельскохозяйственных производителей, с 2001 г. в Российской Федерации на зерновом рынке осуществляются государственные закупочные и товарные интервенции, которые освещены в государственной программе по развитию сельского хозяйства. Отметим, что в 2017 г. Министерством сельского хозяйства РФ вместо обычных закупочных интервенций было предложено субсидирование

вывоза зерна из отдаленных от экспортных площадок регионов, в первую очередь из Сибири и Урала, до портов. Пока эффективность данной меры оценить сложно.

К сожалению, в Российской Федерации через биржи, специализирующиеся на товарах сельскохозяйственных производителей, проходит небольшой процент объема товарного зерна, что не дает возможности в полной мере и объективно выполнять им основную функцию в определении котировок цен на отдельные виды продовольственного зерна.

Отметим, что товарный биржевой рынок включает в себя торговлю сельскохозяйственными товарами (пшеница и крупный рогатый скот); энергетическими товарами (нефть и газ); металлами (золото, серебро и алюминий). Существуют также «мягкие» товары, которые не подлежат долговременному хранению: сахар, хлопок, какао и кофе.

В целом в Российской Федерации доли бирж на товарном рынке достаточно стабильны. Лидерами является АО «СПбМТСБ» с профильным рынком нефтепродуктов и ПАО «Московская Биржа» за счет торгов драгметаллами. Объемы оборота прочих бирж на рынке незначительны [7].

Перспективным проектом является АО «Национальная товарная биржа» (далее НТБ), которое входит в состав Группы «Московская биржа». С 2002 г. НТБ принимает участие в проведении интервенций, с 2004 является уполномоченной биржей Минсельхоза России. С 2015 г. Группа «Московская биржа» запустила организованные поставочные торги зерном с применением новой торговочно-клиринговой системы (небанковская кредитная организация - центральный контрагент «Национальный клиринговый центр»). Однако в настоящий момент НТБ характеризуется невысокой ликвидностью, что повышает риски ценовых колебаний, затрудняет поиск торгового партнера и исключает возможность быстрых операций с контрактами.

На сегодняшний день основными товарными биржами, которые влияют на мировой рынок зерновых, являются Чикагская товарная биржа (далее СВОТ) и Евронекст (далее Euronext и Матиф). Однако они характеризуются низкой корреляцией с ценовой динамикой российского физического рынка. Отсутствие корреляции между ценами на российском наличном (физическом) рынке и котировками СВОТ и Euronext образует базисный риск, что делает фьючерсы вышеупомянутых бирж малоэффективным инструментом хеджирования.

Потребность в разработке методов хеджирования относится в первую очередь к компаниям, занимающимся импортом сырьевых товаров, таких как сахар-сырец, соя, экспортом зерновых товаров, нефти, природного газа, золота, серебра, черных и цветных металлов и т.д. Это обуславливается тем, что цены на сырьевые товары в большей степени реагируют на фундаментальные факторы, такие как погода, влияющая на цены газа и зерна, геополитическая нестабильность, которая сказывается на цене нефти, и забастовки, оказывающие влияние на цены металлов.

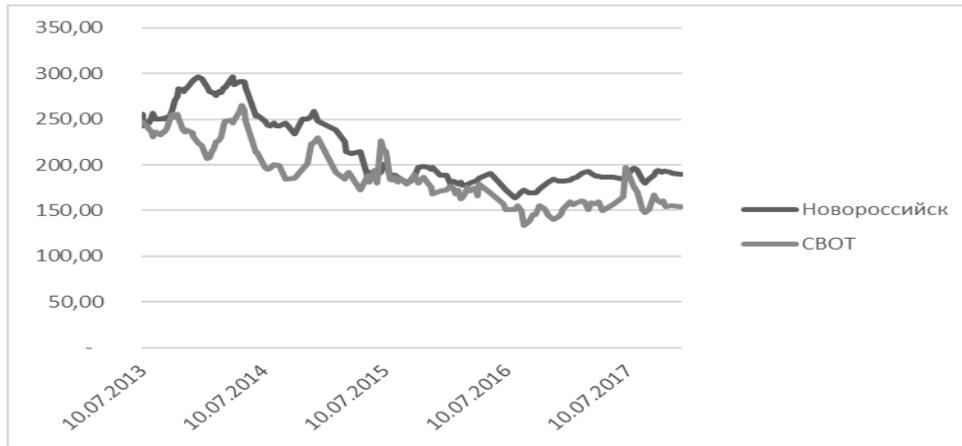


Рис. 1. Корреляция наличного рынка Новороссийска и котировок пшеницы CBOT, долл. США/метрическая тонна
 Fig. 1. Correlation of the cash market of Novorossiysk and wheat quotations CBOT, doll. USA / metric tonusd/mt

Для обоснования утверждения о низкой корреляции наличного рынка Новороссийска как основного экспортного порта и котировок американской и европейской пшеницы на CBOT и Euronext использовался корреляционно-регрессионный анализ. Для расчета коэффициента корреляции авторы использовали исторические данные, выгруженные из системы Thomson Reuters (платформа Eikon). Горизонтом для расчетов были пять лет с 2013 по 2017 г. В результате выявлена слабая корреляция российского наличного рынка и CBOT со значением 0,16, что говорит о низкой степени зависимости между двумя переменными (рис. 1).



Рис. 2. Корреляция наличного рынка Новороссийска и котировок пшеницы Euronext (Матиф), долл. США/метрическая тонна
 Fig. 2. Correlation of the cash market of Novorossiysk and the quotations of wheat on Euronext (Matif), doll. USA / metric tousd/mt

Коэффициент корреляции российского наличного рынка и фьючерсов на продовольственную пшеницу на Euronext имеет значение 0,2 (с округлением), что

несколько выше, чем с СВОТ, однако тоже говорит о малом влиянии одной переменной на другую (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно выделить следующие основные предпосылки для развития товарных бирж в Российской Федерации, специализирующихся на торговле зерном:

- 1) наличие инфраструктуры физического рынка зерна в Черноморском регионе (хранение, транспортировка, отгрузка);
- 2) наличие реализуемого проекта ПАО «Московская биржа» в формате АО «Национальная товарная биржа»;
- 3) опыт в проведении закупочных и товарных интервенций на рынке зерна;
- 4) низкая корреляция между наличным рынком зерна в РФ и фьючерсами на крупнейших мировых товарных биржах, что препятствует возможности применения торгующихся на них производных финансовых инструментов в целях хеджирования рыночных рисков отечественными агропромышленными компаниями;
- 5) высокая волатильность спроса и предложения;
- 6) низкий уровень рентабельности для расширенного воспроизводства;
- 7) увеличение доли рынка на международной арене.

Для развития товарных бирж, по мнению автора, в первую очередь необходимо преодоление ранее упомянутых проблем, препятствующих развитию и повышению эффективности зернового рынка. Малоэффективная организация внутренней и внешней логистики будет снижать ликвидность на бирже. При условии наличия цепочки посредников в торговле зерновыми культурами определить реальную рыночную цену будет затруднительно, в то время как основная функция биржи состоит в котировании цены спроса и предложения на рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еженедельный информационно-аналитический журнал «АПК-Информ» СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.apk-inform.com/>.
2. Система государственной поддержки сельского хозяйства в условиях членства России в ВТО: коллективная моногр. по материалам круглого стола в рамках VII Международной научной конференции «Инновационное развитие экономики России. Междисциплинарное взаимодействие» / под ред. С. В. Киселева. – Москва: Экономический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2016. – 176 с.
3. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы: Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 N 717 (ред. от 10.11.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133795/.

4. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ГАРАНТ.РУ: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12072719/#ixzz51eL5lrKP>.

5. Сценарный прогноз развития зернового рынка России – Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ac.gov.ru/files/publication/a/7612.pdf.

6. Основные тенденции в развитии зернового хозяйства и рынка зерна в России. Алтухов А.И. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/osnovnye-tendentsii-v-razvitii-zernovogo-hozyaystva-i-rynka-zerna-v-rossii>.

7. Анализ товарного рынка за 2016 г. – Центральный банк Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cbr.ru/finmarkets/files/survey/commodity_market_2016-1.pdf.

REFERENCES

1. *Ezhenedel'nyj informacionno-analiticheskij zhurnal "APK-Inform" SNG* [Weekly information and analytical magazine "APK-Inform" CIS]. Available at: https://www.cbr.ru/finmarkets/files/survey/commodity_market_2016-1.pdf (Accessed 09 January 2018).

2. Sistema gosudarstvennoj podderzhki sel'skogo hozjajstva v uslovijah chlenstva Rossii v VTO [System of state support to agriculture in the context of Russia's membership in the WTO]. *Kollektivnaja monografija po materialam kruglogo stola v ramkah sed'moj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Innovacionnoe razvitie jekonomiki Rossii. Mezhdisciplinarnoe vzaimodejstvie»*. Pod red. S. V. Kiseleva. Moscow, Jekonomicheskij fakul'tet MGU imeni M. V. Lomonosova, 2016, 176 p.

3. *O Gosudarstvennoj programme razvitija sel'skogo hozjajstva i regulirovanija rynkov sel'skohozjajstvennoj produkcii, syr'ja i prodovol'stviya na 2013 - 2020 gody* [On the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of the Markets of Agricultural Products, Raw Materials and Food for 2013-2020]. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14.07.2012 N 717 (red. ot 10.11.2017). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133795/ (Accessed 21 November 2017).

4. *Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii* [On Approving the Doctrine of Food Security of the Russian Federation]. Ukaz Prezidenta RF ot 30 janvarja 2010 g. № 120. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12072719/#ixzz51eL5lrKP>. (Accessed 21 November 2017).

5. *Scenarnyj prognoz razvitija zernovogo rynka Rossii* [Scenario forecast for the development of the Russian grain market]. Analiticheskij centr pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii. Available at: ac.gov.ru/files/publication/a/7612.pdf (Accessed 26 December 2017).

6. Altuhov A. I. *Osnovnye tendencii v razvitii zernovogo hozjajstva i rynka zerna v Rossii* [The main trends in the development of grain economy and the grain market in Russia]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/osnovnye-tendentsii-v-razvitii-zernovogo-hozyaystva-i-rynka-zerna-v-rossii> (Accessed 05 December 2017).

7. *Analiz tovarnogo rynka za 2016 g.* [Analysis of the commodity market for 2016]. Central'nyj bank Rossijskoj Federacii. Available at: https://www.cbr.ru/finmarkets/files/survey/commodity_market_2016-1.pdf (Accessed 22 December 2017).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Панарина Дарья Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры отраслевых и корпоративных финансов;
E-mail: dasha_0706_92@mail.ru

Panarina Darya Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student, Department of Branch and Corporate Finance;
E-mail: dasha_0706_92@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье.

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 Agis (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-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52-56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29-32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов, А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit.ru> и выбрав режим BGN (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniia ryb Kaspiiskogo moria* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanie metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting], Ivanovo, Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Techno-economic Optimization of the Design of Hydraulic Fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2008, no.11, pp. 54-57.

2. Sokolov L. I. *Pitanie sibirskogo osetra Acipenser baerii Brandt r. Leny* [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the Design of Field Development with the Use of Hydraulic Fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheski chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *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 обозначен-

ные 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 косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Редакторы: Е. В. Билко, И. В. Голубева, Г. А. Смирнова, Г. Е. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Подписано в печать 31.01.2018. Выход в свет 01.02.2018. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 25,5. Уч.-изд. л. 16,3. Тираж 1000 экз. Заказ № 2