

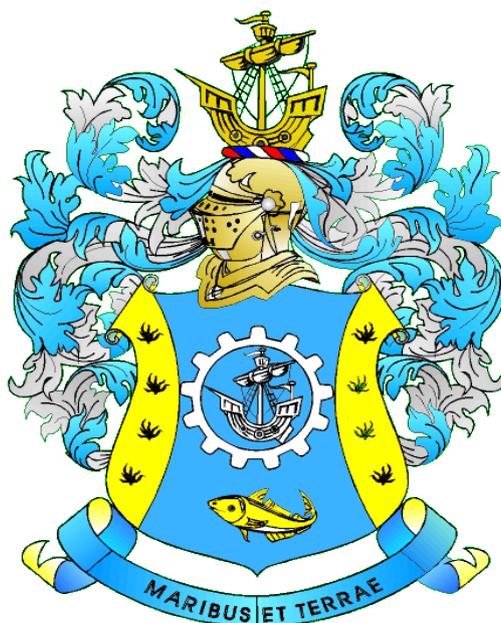
ИЗВЕСТИЯ КГТУ

2024

№ 73

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

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

«Известия КГТУ»
Учредитель: ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный
технический университет»

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.
Зам. главного редактора: А. Я. Яфасов, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия;

В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой энергетики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

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

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

Никитас Никитакос, профессор, Морская академия, г. Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты;

В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, проф., декан факультета кораблестроения и океанотехники, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Россия;

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», г. Калининград, Россия;

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, д-р техн. наук, доц.; *И. С. Александров*, д-р техн. наук, доц.;
М. П. Андреев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.; *О. А. Анциферова*, д-р с.-х. наук,
проф.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, доц.; *О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц.;
А. С. Баркова, д-р вет. наук, доц.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, проф.;
В. В. Брюханов, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Н. Л. Великанов*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Верхотуров, д-р биол. наук, проф.; *А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф.;
В. И. Гнатюк, д-р техн. наук, проф.; *Е. М. Грамузов*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Дорофеева, д-р экон. наук, проф.; *Л. С. Дышлюк*, д-р техн. наук, доц.;
С. В. Дятченко, д-р техн. наук, доц.; *А. В. Иванов*, д-р экон. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. техн. наук, доц.; *О. В. Кригер*, д-р техн. наук, доц.;
С. Н. Лябзина, д-р биол. наук, доц.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
А. Г. Мнацаканян, д-р экон. наук, проф.; *А. Б. Муромцев*, д-р вет. наук, проф.;
Е. Н. Науменко, д-р биол. наук, доц.; *В. А. Наумов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, доц.; *Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф.;
Н. Я. Синяевский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
А. В. Снытников, д-р техн. наук, проф.; *Т. Е. Степанова*, д-р экон. наук, проф.;
В. И. Сутырин, д-р техн. наук, доц.; *А. Б. Тристанов*, канд. техн. наук, доц.;
Е. В. Ульрих, д-р техн. наук, доц.; *Ю. А. Фатыхов*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Федоров, д-р техн. наук, проф.;

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2024



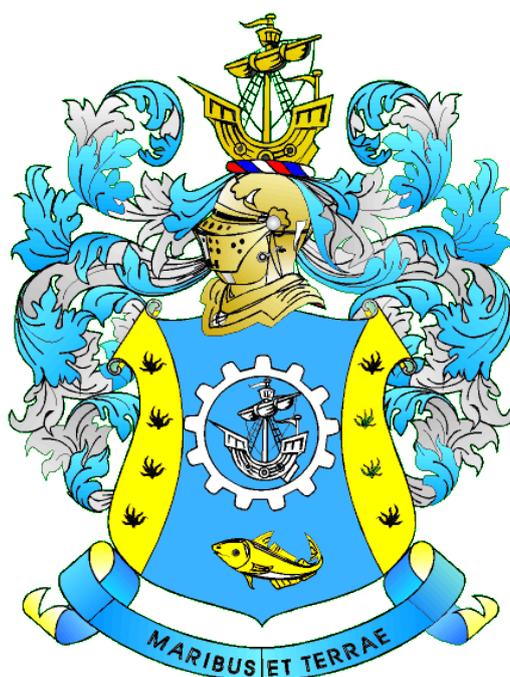
KSTU NEWS

2024

№ 73

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Included in the list of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the candidate of science degree and for the doctor of science degree should be published

*Russian Index of Scientific Citation (RISC)
Agricultural Research Information System (Agris)*

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Бурбах А. С., Алдушина Ю. К.</i> Биологическая характеристика корюшки европейской (<i>Osmerus eperlanus eperlanus</i> L.) р. Деймы Калининградской области в период нерестовой миграции	11
<i>Пилип Л. В., Сырчина Н. В.</i> Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков	24
<i>Утомбаева А. А., Вершинин А. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М.</i> Дыхательная активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью серой лесной почвы в зависимости от подхода к рекультивации	36

Техника и технология пищевых производств

<i>Альшевский Д. Л., Смирнова Д. О., Альшевская М. Н.</i> Совершенствование технологии рыбных тестовых полуфабрикатов с пониженным содержанием глютена	53
<i>Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С., Степанцова Г. Е.</i> Исследование влияния гидратированного порошка топинамбура на функционально-технологические и реологические показатели мясного фарша для рубленых полуфабрикатов	67
<i>Тимакова Р. Т., Ильюхина Ю. В.</i> Нормативно-регуляторный подход к обеспечению безопасности нетрадиционного молочного сырья	82

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Белоусов В. А., Дмитриев Д. Н., Чуреев Е. А., Дятченко С. В.</i> Целесообразность создания крупнотоннажных судов промыслового флота для ведения экспедиционного промысла в Атлантическом океане	97
<i>Романюта Д. А.</i> Перспективы использования жесткого поливинилхлорида в малотоннажном судостроении	111
<i>Старостин Е. С.</i> Повышение надежности распределительных сетей путем внедрения САВС и селективного АПВ	125

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Burbakh A. S., Aldushina Yu. K.</i> Biological characteristics of European smelt (<i>Osmerus eperlanus eperlanus</i> L.) of the Deima River in the Kaliningrad region during spawning migration	11
<i>Pilip L. V., Syrchina N. V.</i> The influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm	24
<i>Utombaeva A. A., Vershinin A. A., Zainulgabidinov E. R., Petrov A. M.</i> Respiratory activity and phytoproductivity of oil-contaminated gray forest soil depending on remediation approach	36

Processes and technology of food manufacturing

<i>Alshevskiy D. L., Smirnova D. O., Alshevskaya M. N.</i> Improving the technology of semi-finished fish dough products with reduced gluten content	53
<i>Muravieva N. A., Baydalina L. S., Stepanтова G. E.</i> Investigation of the effect of hydrated jerusalem artichoke powder on the functional, technological and rheological parameters of minced meat for chopped semi-finished products	67
<i>Timakova R. T., Il'yukhina Yu. V.</i> Regulatory approach to ensuring the safety of non-traditional dairy raw materials	82

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Belousov V. A., Dmitriev D. N., Chureev E. A., Dyatchenko S. V.</i> Feasibility of creating large-tonnage vessels of the fishing fleet for distant-water fishery in the Atlantic Ocean	97
<i>Romanyuta D. A.</i> Prospects for the use of rigid polyvinyl chloride in small-tonnage shipbuilding	111
<i>Starostin E. S.</i> Improving the reliability of distribution networks through the introduction of FLISR and selective ACR	125

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья
УДК 597.552.3 (470.26)
DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-11-23

Биологическая характеристика корюшки европейской (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) р. Деймы Калининградской области в период нерестовой миграции

Анна Сергеевна Бурбах¹, Юлия Казимировна Алдушина²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹anna.burbakh@klgtu.ru

²yuliya.aldushina@klgtu.ru

Аннотация. Реки бассейна Куршского залива (Неман, Скирвите, Матросовка) являются традиционными местами промышленного и любительского рыболовства корюшки европейской на протяжении многих десятилетий. С 2020 года на р. Дейме осуществляется промышленный лов корюшки европейской, и в настоящее время уже 4 рыболовецкие бригады ведут лов на постоянной основе. Нерестовая миграция в 2022 г. в Дейму продолжалась в течение 19 дней и по длительности совпала с ходом в реку Неман. В Дейме в исследуемый период не выявлена экологическая пресноводная (озерная) форма корюшки европейской – снеток, что характерно для основных нерестовых рек Куршского залива. Размерная структура нерестовой части корюшки европейской р. Деймы схожа с таковой в реках Неман и Матросовка. Отмечено доминирование особей длиной 13–14 см в возрасте 3–4 года и некоторое увеличение их средней длины. Сравнительный межгодовой анализ возрастной структуры корюшки европейской показал переход высокоурожайного поколения в более старшую возрастную группу, что подтверждается данными по средневзвешенному возрасту. В 2022 году самки доминировали в течение всей нерестовой миграции, за исключением выровненности в соотношении полов в середине хода. Несмотря на выявленные биологические особенности корюшки европейской в р. Дейме, она является частью единой популяции Куршского залива и с точки зрения управления водными биоресурсами может рассматриваться как одна единица запаса. Потенциальное место организации промышленного рыболовства в бассейне Вислинского залива – р. Преголя, где корюшка европейская является излюбленным объектом любительского рыболовства.

Ключевые слова: река Дейма, корюшка европейская, размерная структура, половая структура, нерестовая миграция, возрастная структура.

Для цитирования: Бурбах А. С., Алдушина Ю. К. Биологическая характеристика корюшки европейской (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) р. Деймы Калининградской области в период нерестовой миграции // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 11-23. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-11-23.

Original article

**Biological characteristics of European smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.)
of the Deima River in the Kaliningrad region during spawning migration**

Anna S. Burbakh¹, Yuliya K. Aldushina²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹anna.burbakh@klgtu.ru

²yuliya.aldushina@klgtu.ru

Abstract. The rivers of the Curonian lagoon basin (the Neman, Skirvite and Matrosovka rivers) are traditional places for commercial and recreational fishing of European smelt for many decades. Since 2020, commercial fishing for European smelt has been carried out on the Deima River and currently there are already four fishing crews fishing here on an ongoing basis. The spawning migration in 2022 to the Deima River lasted for 19 days and it coincided with the migration to the Neman River. In the Deima River during the study period, the ecological (lake) form of European smelt - dwarismelt - was not identified, which is typical for the main spawning rivers of the Curonian Lagoon. The size structure of the spawning part of European smelt in the Deima River is similar to the Neman and Matrosovka rivers. The dominance of fishes with a length of 13–14 cm at the age of 3–4 years and a slight increase in the average length of fishes were noted. A comparative interannual analysis of the age structure of European smelt showed the transition of the high-yielding generation to an older age group, which is confirmed by data on the weighted average age. In 2022, females dominated the entire spawning migration, with the exception of a leveling off in the sex ratio in the middle of migration. Despite the identified biological characteristics of the European smelt in the Deima River, it is part of a single population of the Curonian Lagoon and from the point of view of managing waterbioresources it can be considered as one unit of the stock. A potential location for organizing commercial fishing in the Vistula Lagoon basin is the Pregolya River, where European smelt is a favorite object of recreational fishing.

Keywords: Deima river, European smelt, size structure, sexual structure, spawning migration, age structure.

For citation: Burbakh A. S., Aldushina Yu. K. Biological characteristics of European smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) of the Deima River in the Kaliningrad region during spawning migration. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 11-23. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-11-23.

ВВЕДЕНИЕ

Корюшка европейская (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) является анадромным видом и важным объектом промышленного и любительского рыболовства как в Калининградской области, так и в бассейне Балтийского моря [1–6]. Она обитает в Балтийском море, совершает нерестовые миграции через Куршский залив в реки, где и осуществляется ее воспроизводство и промысел. Традиционно

основными водоемами, где ведется промышленный лов корюшки европейской, являются реки Скирвите, Неман и Матросовка. Неравномерность нерестового хода и колебание его интенсивности в зависимости от гидрометеорологических условий [7], а также развитие любительского рыболовства способствуют расширению списка водоемов, где организуется промышленный лов корюшки. В 2020 г. впервые добыча была осуществлена в р. Дейме, в которую рыба заходит несколько позже, чем в основные промысловые водотоки, что объясняется отдаленностью реки от Клайпедского пролива, через который она попадает в Куршский залив из Балтийского моря [8]. В целом, это позволило продлить период активного промышленного рыболовства корюшки европейской в Калининградской области. Потенциальным водным объектом для расширения районов промысла может стать р. Преголя, в которой активно ведется любительский лов на протяжении последнего десятилетия [3], поэтому отмечающаяся интенсификация промышленного и любительского рыболовства в последние годы и решение задач в области управления водными биоресурсами обуславливают необходимость специального изучения биологических параметров корюшки европейской в период нерестовой миграции в реки Калининградской области.

В настоящее время исследованию биологических характеристик нерестовой части популяции корюшки европейской, заходящей на нерест в реки бассейна Куршского залива (Скирвите, Неман и Матросовка), посвящены работы отечественных и зарубежных авторов [1, 4–6, 9–12], при этом отмечается слабая изученность этих аспектов в реках бассейна Вислинского залива [3, 8].

Целью настоящей статьи является характеристика биологических параметров корюшки европейской в р. Дейме.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для работы послужили данные промысловых уловов 2022 г. в период нерестового хода в р. Дейму (Калининградская область), а также архивные данные кафедры водных биоресурсов и аквакультуры Калининградского государственного технического университета (КГТУ) за 2020–2021 гг. Сбор материала проводился на местах расположения рыболовецких тоней, промысел осуществлялся закидными речными неводами длиной 40 м, высотой 9 м, с шагом ячеи 12 мм. Замет невода проводили по течению реки с притонением на берег. Продолжительность замета, как правило, составляла от 30 мин до 1 ч (рис. 1). Сбор и обработка данных осуществлялась в соответствии с общепринятыми методиками ихтиологических исследований [13]. С целью изучения структуры и интенсивности нерестового хода проводились массовые промеры с учетом пола и стадии зрелости рыб. Объем собранного материала в 2022 г. составил 452 экз.

Количество промысловых бригад в разные годы варьировало. Так, в 2020 г., когда впервые был организован промысел на реке, добычу вела одна бригада, в 2021 г. численность бригад возросла до трех, а в 2022 г. было уже четыре бригады. Схема расположения рыболовецких бригад представлена на рис. 2.

Обработка данных видового и размерного состава рыб велась в информационно-аналитической системе «Рыбвод» [14], статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета Microsoft Excel.



Рис. 1. Организация лова корюшки европейской закидным речным неводом, р. Дейма, 2022 г.

Fig. 1. Catching of European smelt with a cast river seine, Deima River, 2022

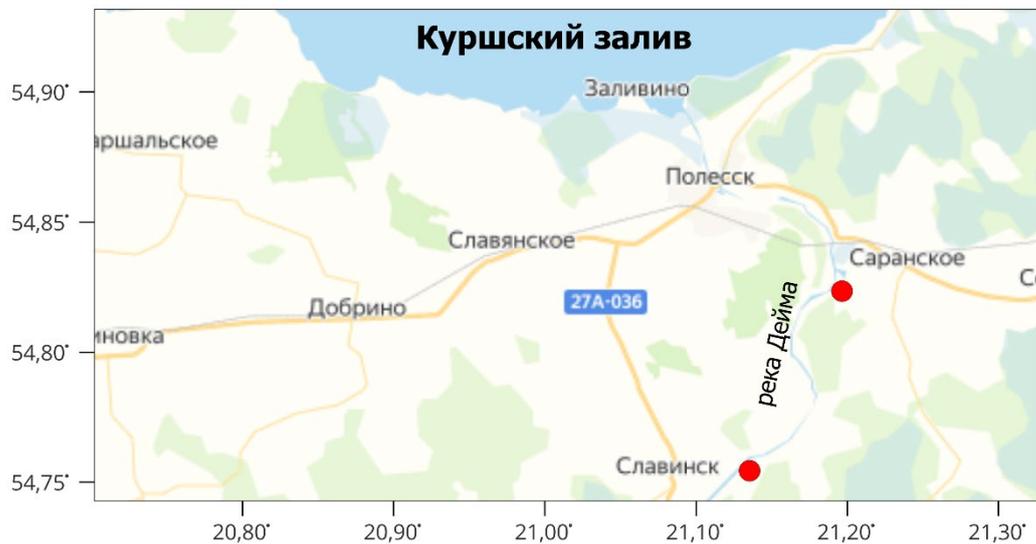


Рис. 2. Места промысла корюшки европейской в р. Дейме, 2022 г.
Fig. 2. Map of fishery places of European smelt on the Deima River, 2022

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 г. нерестовый ход корюшки европейской в р. Дейме проходил в период с 13 по 31 марта и составил 19 дней. Мониторинговые наблюдения кафедры водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ на местах промысла показали, что в 2022 г. в реках Дейма и Неман нерестовый ход начался в один и тот же период, хотя корюшке европейской требуется несколько больше времени, чтобы дойти от Клайпедского канала (где она заходит в Куршский залив из Балтийского моря) до устья Деймы, расстояние до которого в два раза больше, чем расстояние до устья Немана (табл.). Период интенсивной миграции, который соответствует датам с наибольшим выловом, отмечен в р. Дейме в более ранние сроки, что вполне согласуется с предыдущими исследованиями [8]. Важной характеристикой нерестовой миграции европейской корюшки является ее зависимость от гидрометеорологических условий в определенный год. Так, один из самых важных факторов – скорость прогрева воды в реке. При медленном прогреве нерестовый ход плавный, соответственно и интенсивность промысла невысокая, при этом общий вылов выше, чем в годы, когда период прогрева короткий. Еще одним важным фактором, определяющим величину вылова и характер миграции, является фотопериодизм. С этой целью нами был проведен анализ зависимости величины вылова от начала срока нерестового хода. В других более ранних работах установлено, что чем раньше начинается миграция, тем выше будет вылов, т.е. при более раннем заходе – величина вылова выше и, наоборот, чем позднее температура воды достигает оптимальной для начала нерестового хода, тем меньше оказывается величина улова [6, 8, 12, 15]. Влияние данных факторов четко прослеживается и в 2022 году, когда весна была довольно холодной, что не позволило корюшке европейской сформировать больших нерестовых скоплений и, как результат, миграция была «разрозненной», а уловы невысокими. Как результат, в 2022 году общий вылов корюшки европейской в бассейне Куршского залива составил 193 т, при среднем вылове за последние 10 лет – 240 т.

Таблица. Продолжительность нерестового хода корюшки европейской в реки Калининградской области в 2022 г. (данные авторов)

Table. Duration of the spawning migration of smelt in the rivers of the Kaliningrad region in 2022, author's data

Река	Март									
	1	3	7	11	13	16	19	24	27	31
р. Дейма										
р. Неман										

Примечание: темным цветом показаны периоды интенсивного хода корюшки европейской

Размерная структура корюшки европейской р. Деймы в период нерестовой миграции была представлена особями длиной от 9 до 17 см с преобладанием размерных групп 13–14 см, что составило 50 % от общей численности (рис. 3). Сравнительный анализ диапазона размерного ряда нерестовой корюшки европейской в различных реках Калининградской области не выявил значительных различий (данные мониторинга авторов). Максимальных размеров (24 см) корюшка евро-

пейская достигает в более северных водоемах России [15]. В водоемах Калининградской области рыб такой длины не было зарегистрировано. Кроме того, в 2022 г. отмечена следующая особенность: в р. Дейме не выявлена экологическая пресноводная (озерная) форма корюшки европейской (сетка), характерная для основных нерестовых рек бассейна Куршского залива [4, 5]. Возможно, это связано с совершением ею более поздней миграции в р. Дейму по сравнению с другими реками нашей области.

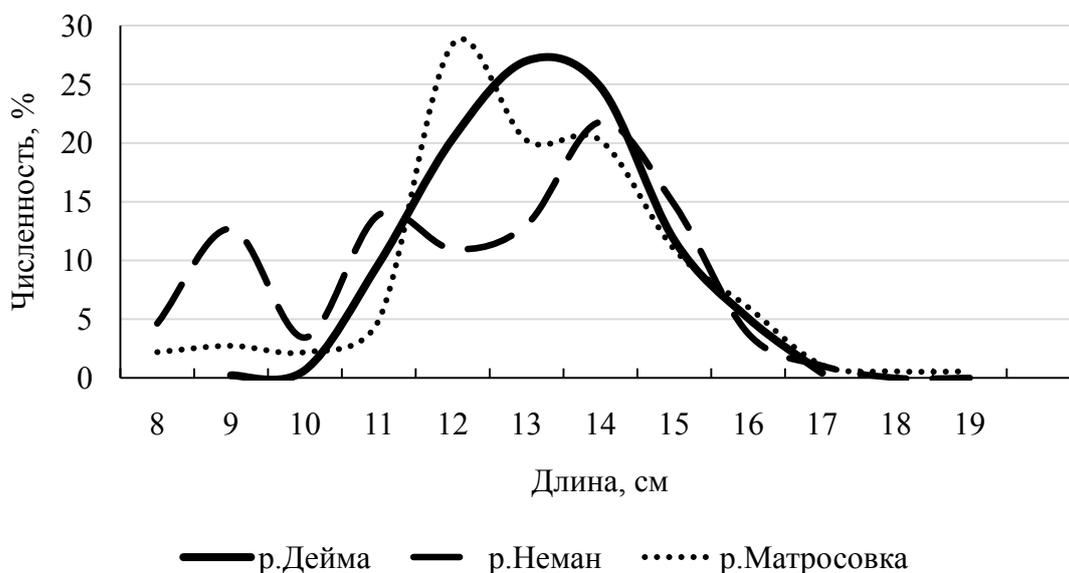


Рис. 3. Размерная структура корюшки европейской в различных реках Калининградской области в период нерестового хода

Fig. 3. Size structure of the European smelt in different rivers of the Kaliningrad region during spawning period

В начале нерестовой миграции преобладали среднеразмерные особи длиной 12–14 см (64 % от общей численности в данный период миграции), к середине хода доминирование данного размерного диапазона увеличилось до 73 %, а к концу – снизилось, составляя порядка 58 % от общей численности в данный период миграции.

Доля особей длиной до 11 см была достаточно высока в начале и конце миграции (23 и 20 % от общей численности соответственно) и закономерно снижалась в ее середине (порядка 7 % от общей численности). Далее, с увеличением длины корюшки европейской, численность рыб в середине хода постоянно росла, достигая максимальных значений при длине 13–15 см (66 % от численности в данный период). Доля особей с длиной более 16 см не превышала 10 % в течение всей нерестовой миграции (рис. 4).

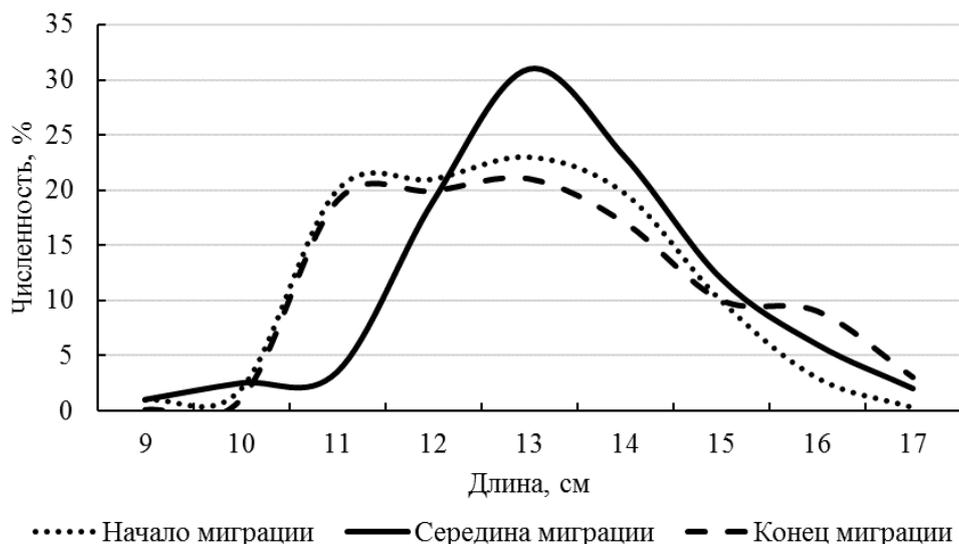


Рис. 4. Размерная структура корюшки европейской р. Деймы в различные периоды нерестовой миграции в 2022 г.

Fig. 4. Size structure of the European smelt of the Deima River in different period of spawning migration in 2022

Анализ изменения средней длины корюшки европейской в период нерестовой миграции показал, что ее средняя длина за весь период составила 13,1 см. Максимальное значение средней длины достигнуто к середине миграции (средняя длина 13,4 см), что косвенно может говорить о пике нерестовой миграции. К концу нерестового хода происходило уменьшение ее средней длины (до 13,1 см) (рис. 5), что согласовывается со структурой нерестового хода анадромных рыб и соответствует средним размерным характеристикам корюшки европейской в Куршском заливе [6].

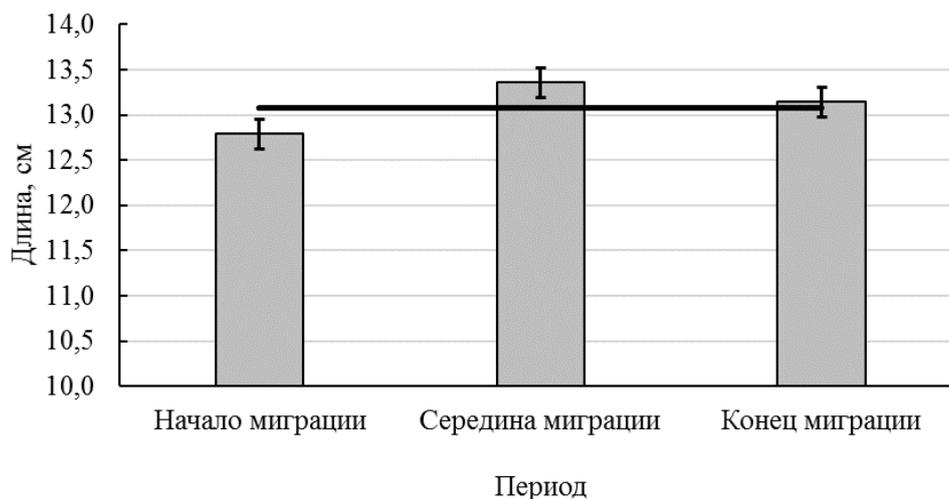


Рис. 5. Изменение средней длины корюшки европейской в период нерестовой миграции в р. Дейму

Fig. 5. Dynamics of the average length of European smelt during spawning migration into the Deima river

В нерестовой части популяции преобладали самки, за исключением относительного равенства полов в середине миграции. Так, в начале нерестовой миграции доля самцов составляла 37 % от общей численности в данный период, а к концу нерестовой миграции их доля уменьшилась до 30 % (рис. 6).

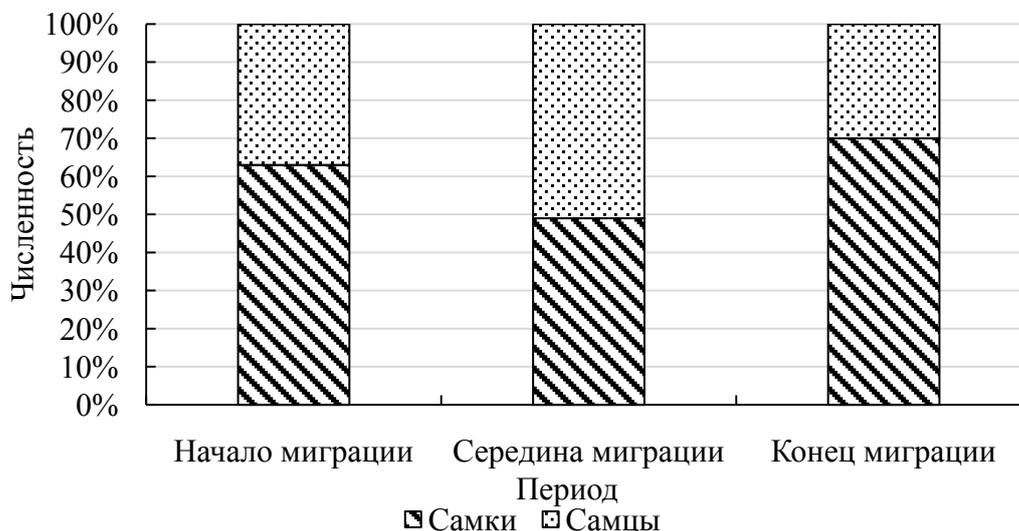


Рис. 6. Половая структура корюшки европейской р. Деймы в различные периоды нерестовой миграции
Fig. 6. Sexual structure of European smelt of the Deima River in different period of spawning migration

Возрастная структура корюшки европейской р. Деймы была представлена четырьмя возрастными группами от двух до пяти лет (рис. 7). Большая часть нерестового стада приходится на особи в возрасте четырех лет (50 % от общей численности). Доля особей в возрасте двух лет составила порядка 1 %. Численность особей в возрасте трех и пяти лет колебалась в пределах от 18 до 30 %. Средневзвешенный возраст корюшки европейской был равен 4-м годам. Следует отметить, что установленный средний возраст корюшки европейской р. Деймы превышает значение такового в Куршском заливе. Это можно объяснить тем, что в наиболее удаленные места нереста (р. Дейма) мигрирует более выносливая и крупноразмерная часть популяции [6].

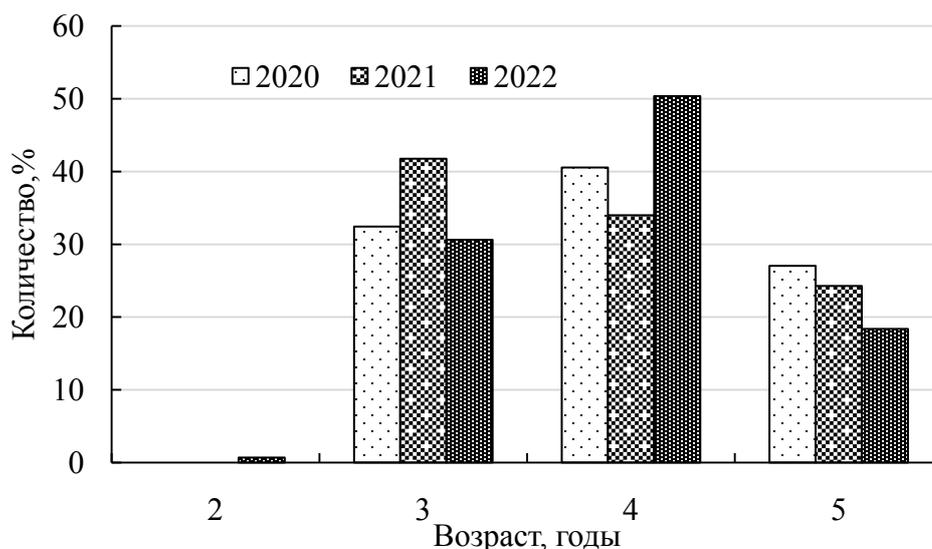


Рис. 7. Возрастная структура корюшки европейской р. Деймы в 2020–2022 гг.
Fig. 7. Age structure of European smelt of the Deima river in 2020–2022

Сравнение возрастной структуры корюшки европейской р. Деймы в межгодовом аспекте показало наличие особей в возрасте 2-х лет только в 2022 г. и доминирование особей в возрасте 3 года в 2021 г. В возрастной структуре 2021 и 2022 гг. четко прослеживается переход высокоурожайного поколения в более старшую возрастную группу, что также характерно для корюшки европейской других водоемов [16].

ВЫВОДЫ

1. За последние 4–5 лет река Дейма, наряду с реками Скирвите, Неман, Матросовка, стала традиционным местом промышленного и любительского рыболовства корюшки европейской в Калининградской области.
2. Продолжительность нерестовой миграции корюшки европейской в реки Дейма и Неман в 2022 г. имела сходный характер и зависела от гидрометеорологических условий.
3. Наибольший вклад в воспроизводство корюшки европейской вносят особи длиной 13–14 см в возрасте 3–4 года.

Список источников

1. Svanberg I., Jäppinen A., Bonow M. An endangered regional cuisine in Sweden: the decline in use of European smelt, *Osmerus eperlanus* (L., 1758), as food stuff // Journal of Ethnic Food. 2019. URL: <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0025-3> (дата обращения: 17.11.2023).
2. Sendek D. S., Bogdanov D. V. European smelt *Osmerus eperlanus* in the eastern Gulf of Finland, Baltic Sea: Stock status and fishery // Journal of Fish Biology. 2019. V. 94. P. 1001–1010.
3. Характеристика любительского лова снетка (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) в р. Преголе в пределах г. Калининграда /

А. С. Попова, Л. С. Федоров, С. В. Шибает, А. В. Ляхов // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 59–69. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-59-69.

4. Биологические показатели корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) реки Неман в период нерестовой миграции / С. В. Шибает, А. В. Соколов, А. С. Анурьева, О. А. Новожилов, Е. В. Лунева // Известия КГТУ. 2014. № 2. С. 99–106.

5. Анурьева А. С., Шокель К. Ю., Шибает С. В. Размерно-возрастная структура нерестового стада европейской корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) р. Неман // Научно-практический журнал "Высшая школа". Уфа. 2015. № 5. С. 64–68.

6. Рябчун В. А., Подгорный К. А., Голубкова Т. А. Современное состояние популяции корюшки европейской *Osmerus eperlanus* (L.) в Куршском заливе и использование адаптивных моделей для прогнозирования рекомендованного вылова // Труды АтлантНИРО. 2020. Т. 4. № 1(9). С. 94–115.

7. Burbakh A., Shibaev S. Impact of Hydrometeorological Conditions on Smelt Spawning Migration and Catch Fluctuations in the Rivers of Curonian Lagoon Basin // Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2022. P. 171–180.

8. Бурбах А. С., Шибает С. В. Результаты исследования нерестового хода корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реке Дейме бассейна Куршского залива (Калининградская область) // Известия КГТУ. 2021. № 60. С. 22–31.

9. Эволюция промысла корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) и снетка (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) в реках Куршского залива бассейна Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шибает, А. В. Соколов, О. А. Новожилов // Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 85–89.

10. Repečka R., Gerulaitis A. Monitoring of abundance and biological characteristic of migratory fish species (Salmon, Sea trout, Vimba and Smelt) in the beginning of spawning migration. Summary // Žuvininkystė lietuvoje. 1994. V. 1. P. 47–48.

11. Гайгалас К. С. Естественные нерестилища, миграционные пути промысловых рыб в дельте р. Нямунас и их современное состояние // Гидробиологические и ихтиологические исследования внутренних водоемов Прибалтики. 1968. № 1. С. 124–127.

12. Бурбах А. С., Шибает С. В. Промысел корюшки в транзитной системе река Неман–Куршский залив в условиях изменяющихся гидрометеорологических факторов // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов: Международная научно-практическая конференция (20–24.11.2023, ВНИРО, г. Москва): материалы. Москва, 2023. С.36–39.

13. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва: Пищепромиздат, 1966. 376 с.

14. Шибает С. В. Теоретические основы применения системного подхода в рыбохозяйственных исследованиях и информационном обеспечении управления водными биоресурсами внутренних водоемов. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.10. Калининград, 2002. 42 с.

15. Population dynamics and distribution of the Lake Smelt, a dwarf form of the European Smelt *Osmerus eperlanus* (Osmeridae), and the Black Sea Sprat *Clupeonella*

cultriventris (Clupeidae) while Cohabiting the Rybinsk Reservoir / Yu. V. Gerasimov, A. S. Komarova, A. F. Tarleva, Yu. I. Solomatina, M. I. Bazarova, E.S. Borisenko // Journal of Ichthyology. 2023. V. 63. № 5. P. 554–566.

16. Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М. Современные биологические характеристики сига *Coregonus lavaretus*, европейской ряпушки *C. albula* и европейской корюшки *Osmerus eperlanus* озера Имандра // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2020. Вып. 3. С. 210–226.

References

1. Svanberg I., Jäppinen A., Bonow M. An endangered regional cuisine in Sweden: the decline in use of European smelt, *Osmerus eperlanus* (L., 1758), as food stuff. *Journal of Ethnic Food*. 2019. Available at: <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0025-3> (Accessed 17 November 2023).

2. Sendek D. S., Bogdanov D. V. European smelt *Osmerus eperlanus* in the eastern Gulf of Finland, Baltic Sea: Stock status and fishery. *Journal of Fish Biology*. 2019, vol. 94, pp. 1001–1010.

3. Popova A. S., Fedorov L. S., Shibaev S. V., Lyakhov A. V. Kharakteristika lyubitel'skogo lova snetka (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) v r. Pregole v predelakh g. Kaliningrada [Characteristics of amateur fishing for smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) in the river Pregol within the city of Kaliningrad]. *Izvestiya KGTU*. 2023, no. 70, pp. 59–69. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-59-69.

4. Shibaev S. V. [i dr.] Biologicheskie pokazateli koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) reki Neman v period nerestovoy migratsii [Biological indicators of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) of the Neman River during the spawning migration period]. *Izvestiya KGTU*. 2014, no. 2, pp. 99–106.

5. Anur'eva A. S., Shokel' K. Yu., Shibaev S. V. Razmerno-voznrastnaya struktura nerestovogo stada evropeyskoy koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) r. Neman [Size and age structure of the spawning stock of European smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) Neman River]. *Nauchno-prakticheskiy zhurnal "Vysshaya shkola"*. 2015, no. 5, pp. 64–68.

6. Ryabchun V. A., Podgornyy K. A., Golubkova T. A. Sovremennoe sostoyanie populyatsii koryushki evropeyskoy *Osmerus eperlanus* (L.) v Kurshskom zalive i ispol'zovanie adaptivnykh modeley dlya prognozirovaniya rekomendovannogo vylova [Current state of the European smelt population *Osmerus eperlanus* (L.) in the Curonian Lagoon and the use of adaptive models to predict the recommended catch]. *Trudy AtlantNIRO*. 2020, vol. 4, no. 1 (9), pp. 94–115.

7. Burbakh A., Shibaev S. Impact of Hydrometeorological Conditions on Smelt Spawning Migration and Catch Fluctuations in the Rivers of Curonian Lagoon Basin. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering*. Springer, Cham., 2022, pp. 171–180.

8. Burbakh A. S., Shibaev S. V. Rezul'taty issledovaniya nerestovogo khoda koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) v reke Deyme basseyna Kurshskogo zaliva (Kaliningradskaya oblast') [Results of a study of the spawning run of smelt (*Osmerus*

eperlanus eperlanus L.) in the Deima River in the Curonian Lagoon basin (Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*. 2021, no. 60, pp. 22–31.

9. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V., Novozhilov O. A. Evolyutsiya promysla koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) i snetka (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) v rekakh Kurshskogo zaliva basseyna Baltiyskogo morya [Evolution of the fishery for smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) and smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) in the rivers of the Curonian Lagoon of the Baltic Sea basin]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2019, no. 3, pp. 85–89.

10. Repečka R., Gerulaitis A. Monitoring of abundance and biological characteristic of migratory fish species (Salmon, Sea trout, Vimba and Smelt) in the beginning of spawning migration. Summary. *Žuvininkystė lietuvoje*. 1994, vol. 1, pp. 47–48.

11. Gaygalas K. S. Estestvennye nerestilishcha, migratsionnye puti promyslovykh ryb v del'te r. Nyamunas i ikh sovremennoe sostoyanie [Natural spawning grounds, migration routes of commercial fish in the delta of the river Nemunas and their current state]. *Gidrobiologicheskie i ikhtiologicheskie issledovaniya vnutrennikh vodoemov Pribaltiki*. 1968, no. 1, pp. 124–127.

12. Burbakh A. S., Shibaev S. V. Promysel koryushki v tranzitnoy sisteme reka Neman–Kurshskiy zaliv v usloviyakh izmenyayushchikhsya gidrometeorologicheskikh faktorov [Smelt fishing in the Neman River–Curonian Lagoon transit system under changing hydrometeorological factors]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennye metody otsenki i ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh biologicheskikh resursov"* [Proceedings of the International scientific and practical conference "Modern methods of assessment and rational use of aquatic biological resources"]. Moscow. 2023, pp. 36–39.

13. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [Guide to the study of fish (mostly freshwater)]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966, 376 p.

14. Shibaev S. V. Teoreticheskie osnovy primeneniya sistemnogo podkhoda v rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh i informatsionnom obespechenii upravleniya vodnymi bioresursami vnutrennikh vodoemov. Avtoreferat. diss. dokt. biol. nauk [Theoretical foundations of the application of a systematic approach in fisheries research and information support for the management of aquatic biological resources of inland reservoirs. Abstract of dis. dr. biol. sci.]. Kaliningrad, 2002. 42 p.

15. Gerasimov Yu. V. [et al.]. Population dynamics and distribution of the Lake Smelt, a dwarf form of the European Smelt *Osmerus eperlanus* (Osmeridae), and the Black Sea Sprat *Clupeonella cultriventris* (Clupeidae) while Cohabiting the Rybinsk Reservoir. *Journal of Ichthyology*. 2023, vol. 63, no. 5, pp. 554–566.

16. Zubova E. M., Kashulin N. A., Terent'ev P. M. Sovremennye biologicheskie kharakteristiki siga *Coregonus lavaretus*, evropeyskoy ryapushki *S. albula* i evropeyskoy koryushki *Osmerus eperlanus* ozera Imandra [Modern biological characteristics of whitefish *Coregonus lavaretus*, European vendace *C. albula* and European smelt *Osmerus eperlanus* of Lake Imandra]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2020, iss. 3, pp. 210–226.

Информация об авторах

А. С. Бурбах – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Ю. К. Алдушина – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Information about the authors

A. S. Burbakh – Ph.D. in Biological Science; Associate Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

Y. K. Aldushina – Ph.D. in Biological Science; Associated Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 18.01.2024; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 19.02.2024.

The article was submitted 18.01.2024; approved after reviewing 09.02.2024; accepted for publication 19.02.2024.

Научная статья

УДК 502.55

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35

Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков

Лариса Валентиновна Пилип¹, Надежда Викторовна Сырчина²

¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

²Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Аннотация. Изучение состава, структуры и коммуникации между различными микроорганизмами в биопленках является приоритетным направлением развития экологической микробиологии. В составе биопленок бактерии, грибы, простейшие и другие микроорганизмы становятся более устойчивыми к действию неблагоприятных факторов внешней среды. Микроорганизмы, формирующие биопленки, колонизируют различные поверхности, а также кожу и слизистые оболочки животных и человека, приобретают антибиотикорезистентность и устойчивость к дезинфицирующим веществам. Цель работы заключалась в оценке влияния различных типов синтетических поверхностно-активных веществ на состав биопленок, формирующихся на поверхности свиных навозных стоков. Синтетические поверхностно-активные вещества широко используются в различных отраслях, в том числе в промышленном животноводстве, преимущественно в виде моющих средств и фармакологических препаратов. Биопленки с поверхности навозных стоков извлекали с соблюдением правил асептики и антисептики через 14 суток после начала эксперимента. Микробиологические исследования показали, что внесение катионактивных, неионогенных и анионактивных синтетических поверхностно-активных веществ приводит к существенной трансформации микробиоты биопленки – превалированию грибов *Aspergillus* ssp. и *Candida* sp. (44,5–55,2 %) над грамположительными микроорганизмами, характерными для контрольного варианта (81,49%), и формированию более плотных биопленок, способных снижать процессы газовой выделения и запаховую нагрузку от навозных стоков. Под влиянием синтетических поверхностно-активных веществ из состава биопленок исчезли *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., а в варианте с анионактивными веществами также *Bacteroides* sp. и *Pseudomonas* spp. Наибольшую устойчивость к синтетическим поверхностно-активным веществам проявили *Clostridium* ssp.

Ключевые слова: поверхностные биопленки, навозные стоки, микробиота навозных стоков, поверхностно-активные вещества, клостридии, катионактивные ПАВ, неионогенные ПАВ, анионактивные ПАВ.

Для цитирования: Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 24-35. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35.

Original article

The influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm

Larisa V. Pilip¹, Nadezhda V. Syrchina²

¹Vyatka State University, Kirov, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Abstract. The study of the composition, structure and communication between various microorganisms in biofilms is a priority direction of the development of environmental microbiology. Being a part of the biofilms bacteria, fungi, protozoa and other microorganisms become more resistant to the effects of adverse environmental factors. Microorganisms that form biofilms colonize various surfaces, as well as the skin and mucous membranes of animals and humans, acquire antibiotic resistance and resistance to disinfectants. The aim of the work was to assess the effect of various types of synthetic surfactants on the composition of biofilms formed on the surface of pig manure effluents. Surfactants are widely used in various industries, including industrial animal husbandry, mainly in the form of detergents and pharmacological preparations. Biofilms were removed from the surface of the manure effluents in compliance with the rules of asepsis and antiseptics 14 days after the start of the experiment. Microbiological studies have shown that the introduction of cationic surfactants, nonionic surfactants and anionactive surfactants leads to a significant transformation of the biofilms microbiota: the prevalence of fungi *Aspergillus* ssp. and *Candida* sp. (44.5–55.2%) over gram-positive microorganisms, characteristic of the control variant (81.49%), and the formation of denser biofilms, capable of reducing the processes of gas emission and odor load from manure effluents. Under the influence of surfactants from biofilms, *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. disappeared from the composition of biofilms and *Bifidobacterium* ssp., and in the variant with anionactive surfactants also *Bacteroides* sp. and *Pseudomonas* spp. *Clostridium* ssp. showed the greatest resistance to surfactants.

Keywords: surface biofilms, manure effluents, microbiota of manure effluents, surfactants, *Clostridia*, cationic surfactants, nonionic surfactants, anionic surfactants.

For citation: Pilip L. V., Syrchina N. V. The influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 24-35. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35.

ВВЕДЕНИЕ

Биопленки (БП) относятся к старейшим, наиболее успешным, широко распространенным и устойчивым формам жизни на Земле, способным существовать в самых экстремальных условиях [1]. Образуюсь на границе раздела фаз, они представляют собой сложные, пространственно и метаболически структурированные консорциумы гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов (МО), объединенных выделяемыми ими внеклеточными полимерными веществами – матриксом. Матрикс содержит полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты, липиды и другие соединения. Комплекс внеклеточных биополимеров защищает обитателей БП от высыхания, воздействия токсичных соединений, ультрафиолетового излучения и иных неблагоприятных факторов, а также служит источником некоторых питательных веществ [2, 3]. В состав БП могут входить микроводоросли, бактерии, грибы, простейшие, вирусы, археи [4, 5].

Считается, что МО, образующие БП, активно колонизируют живые и неживые поверхности, вызывая серьезные проблемы в таких сферах, как медицина, нефтедобыча, производство продуктов питания, водный транспорт, коммунальное хозяйство и др. [6]. На животноводческих предприятиях БП формируются на поверхности навозных стоков (НС), стенах, полу, в поилках, кормушках и даже на самих животных [7].

Устойчивость МО, образующих БП, значительно выше, чем устойчивость МО, обитающих в форме планктона. Экспрессия их генов и характер роста также существенно отличаются от планктонных форм [8]. Биопленки могут содержать устойчивые к антибиотикам и дезинфицирующим средствам патогенные МО, представляющие опасность не только для животных, но и для человека [9–11].

Характер и развитие БП зависят от многих факторов, включая температуру, pH, содержание кислорода, гидродинамические условия, осмолярность, наличие питательных и специфических веществ и ионов [12]. Существенное влияние на БП оказывают поверхностно-активные вещества (ПАВ), изменяющие свойства границы раздела между различными фазами [13]. Разные типы ПАВ попадают в НС в составе моющих средств, ветеринарных препаратов, кормовых добавок. Сведения о направлениях трансформации микробиоты НС под влиянием сурфактантов в опубликованных источниках практически отсутствуют. Вместе с тем, изучение состава, структуры, межклеточных отношений и коммуникаций между различными МО в биопленках в настоящее время является одним из наиболее приоритетных и многообещающих направлений развития экологической микробиологии [14, 15].

Цель настоящей работы состояла в оценке влияния различных типов синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) на состав биопленок, формирующихся на поверхности свиных навозных стоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполняли на примере жидкой фракции (ЖФ) свиных НС, которую получали методом сепарирования содержимого навозонакопительных ванн, расположенных в подпольном пространстве свинарников крупного животноводческого предприятия Кировской области. Срок нахождения НС в навозо-

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате микробиологических исследований было установлено, что внесение ПАВ приводит к существенной трансформации микробиоты поверхностных БП, а именно к изменению соотношения грамположительных, грамотрицательных бактерий и грибов (рис. 1), при этом общая численность МО изменяется незначительно (табл.).

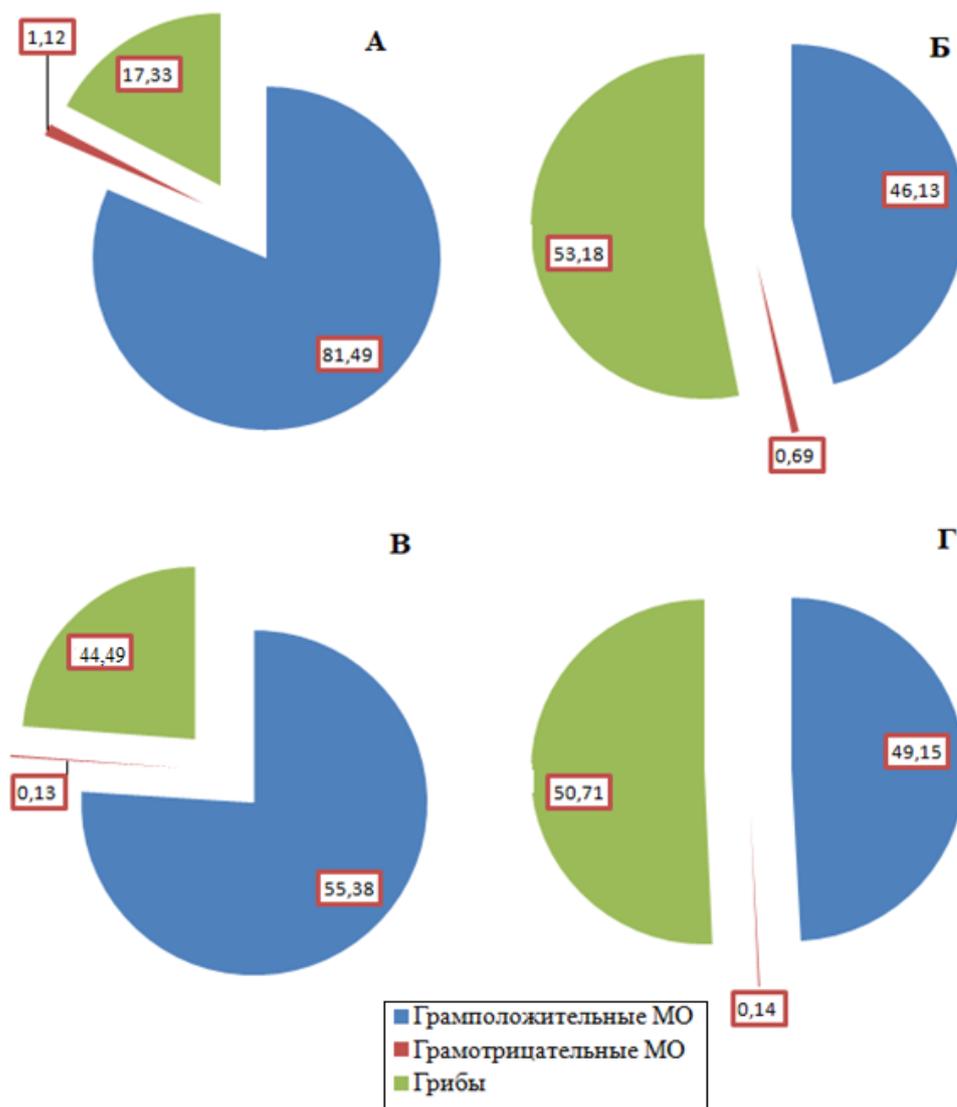


Рис. 1. Доля различных микроорганизмов в поверхностных биопленках, %:
А – вариант 1 (жидкая фракция (ЖФ) без добавок); Б – вариант 2 (ЖФ+КПАВ);
В – вариант 3 (ЖФ+НПАВ); Г – вариант 4 (ЖФ+АПАВ)

Fig. 1. Proportion of various microorganisms in surface biofilms, %:
A – option 1 (liquid fraction (LF) without additives); B – option 2 (LF + cationic surfactant); B – option 3 (LF + nonionic surfactant); D – option 4 (LF + anionic surfactant)

По внешнему виду поверхностные БП разных вариантов существенно отличались друг от друга (рис. 2). На поверхности первого варианта без добавок сформировалась фрагментированная пленка со светлым центром и темными краями; на поверхности варианта с добавкой КПАВ (вариант 2) наблюдали сплошную плотную пленку светло-серого цвета; в вариантах с добавками НПАВ (вариант 3) и АПАВ (вариант 4) пленки были неоднородными по цвету и толщине, на поверхности пленок выделялись участки серого и бурого цветов, а также хорошо выраженные бугристые пятна черного цвета. Однако следует отметить, что самая плотная БП сформировалась в варианте 4.

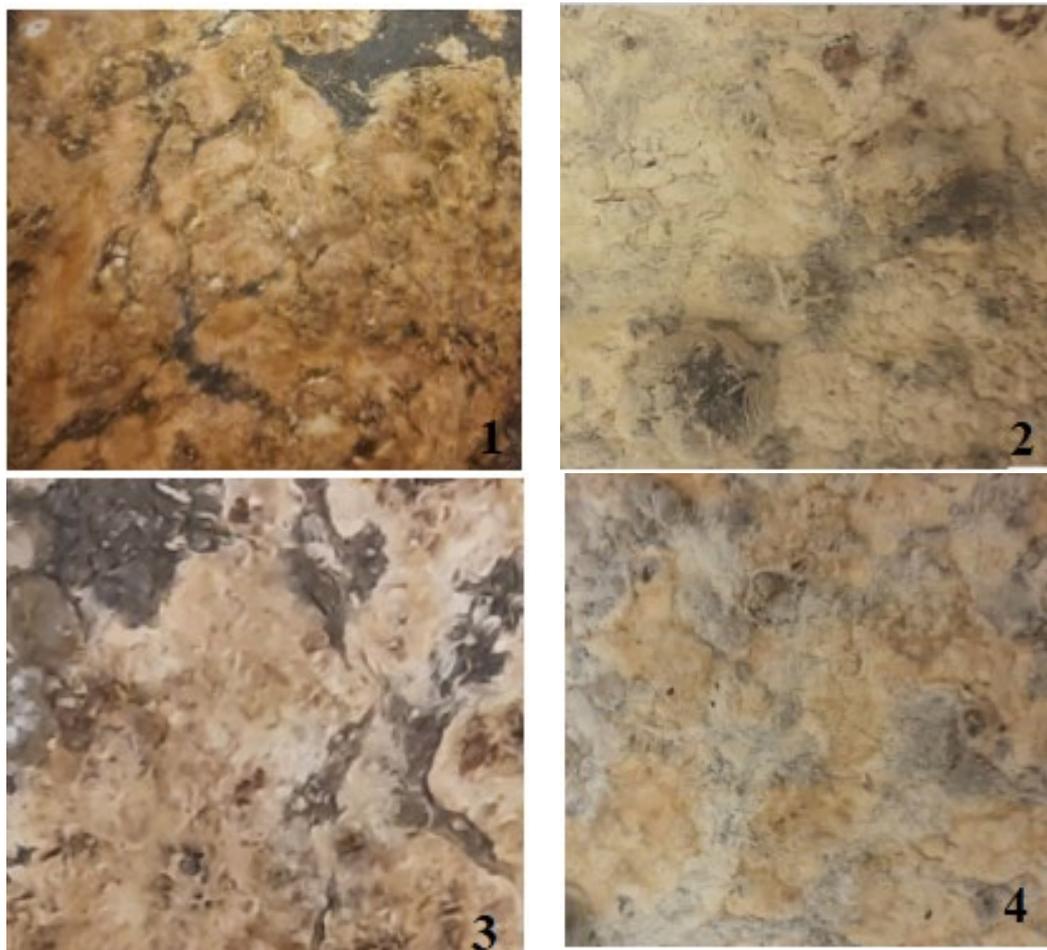


Рис. 2. Внешний вид поверхностных биопленок
(цифры соответствуют вариантам эксперимента)

Fig. 2. Appearance of surface biofilms
(the numbers correspond to the experimental variants)

Основу микробиоты БП, формирующихся на поверхности ЖФ свиных НС, составляют МО, обитающие в желудочно-кишечном тракте, на слизистых оболочках или коже животных. Плесневые грибы *Aspergillus* spp скорее всего попадают в НС с остатками корма. Количественный и качественный состав микробиоты БП разных вариантов приведен в таблице.

Таблица. Состав микробиоты биопленок на поверхности жидкой фракции свиных навозных стоков

Table. Composition of microbiota of biofilms on the surface of the liquid fraction of pig manure effluents

Микроорганизмы	Количество микроорганизмов, КОЕ/мл			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Грамположительные				
Факультативные анаэробы				
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$(8,0 \pm 0,8) \cdot 10^4$	не обнаружены		
<i>Lactobacillus</i> spp.	$(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^4$	не обнаружены		
Облигатные анаэробы				
<i>Clostridium</i> spp.	$(8,6 \pm 0,4) \cdot 10^5$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^5$	$(8,8 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(7,8 \pm 0,3) \cdot 10^5$
<i>Bifidobacterium</i> spp.	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	не обнаружены		
Грамотрицательные				
Аэробы				
<i>Pseudomonas</i> spp.	$(7,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	$(8,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	не обнаружены
Факультативные анаэробы				
<i>Escherichia coli</i>	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,9) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$
<i>Proteus</i> spp.	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$
<i>Klebsiella</i> sp.	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(4,0 \pm 0,6) \cdot 10^1$	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^1$
Облигатные анаэробы				
<i>Prevotella</i> sp.	$(6,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(8,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^1$	$(7,0 \pm 0,7) \cdot 10^1$
<i>Bacteroides</i> sp.	$(3,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,9) \cdot 10^1$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	не обнаружены
<i>Fusobacterium</i> sp.	$(5,0 \pm 0,9) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(8,0 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$
Грибы				
<i>Candida</i> sp.	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,9) \cdot 10^3$	$(5,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$
<i>Aspergillus</i> spp.	$(2,0 \pm 1,1) \cdot 10^5$	$(8 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(7,0 \pm 0,3) \cdot 10^5$	$(8,0 \pm 0,5) \cdot 10^5$

Примечание. Жирным шрифтом выделены варианты эксперимента, достоверно ($P > 0,95$) отличающиеся от варианта контроля

Согласно приведенным в таблице данным наименее устойчивыми к воздействию всех типов СПАВ оказались *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* spp. и *Bifidobacterium* spp. Соответствующие МО исчезли из состава БП во всех экспериментальных вариантах.

К наиболее значительному сокращению биоразнообразия поверхностных БП привела добавка АПАВ. Добавки НПАВ и КПАВ оказались менее эффективными. Выявленный факт, казалось бы, противоречит результатам исследований, подтверждающих выраженные бактерицидные свойства КПАВ [16]. Согласно опубликованным данным антибактериальная активность КПАВ, в частности бензалкония хлорида, обусловлена электростатическим взаимодействием между поверхностно-активным органическим катионом и отрицательно заряженной бактериальной мембраной, приводящим к увеличению проницаемости мембраны, ее

лизису и выходу цитоплазматического содержимого МО клетки во внешнюю среду [17]. В АПАВ поверхностной активностью обладают органические анионы, сорбируемость которых на отрицательно заряженной поверхности МО клеток может быть затруднена. Однако следует иметь в виду, что обитающие в биопленках МО защищены матриксом, основным компонентом которого являются полисахариды. Молекулы полисахаридов в нейтральных водных растворах, благодаря многочисленным гидроксильным группам, приобретают отрицательный заряд, за счет которого происходит электростатическое связывание поверхностно-активных катионов КПАВ. Связанные матриксом КПАВ представляют меньшую опасность для бактериальных клеток. Таким образом, матрикс защищает обитающие в биопленках МО от воздействия КПАВ [18, 19]. Поверхностно-активные анионы АПАВ, благодаря электростатическому отталкиванию, полисахаридами матрикса не связываются и получают доступ к клеткам МО. Центрами адсорбции ПАВ (включая АПАВ) могут выступать гидрофобные участки клеточных стенок МО, с которыми взаимодействуют неполярные части дифильных структур. Адсорбция ПАВ на поверхности клеток приводит к изменению их заряда и гидрофобных свойств, нарушению проницаемости клеточных мембран, снижению барьерных функций, в результате чего жизнеспособность МО уменьшается.

Наиболее высокую устойчивость к воздействию всех типов СПАВ проявили *Clostridium* ssp. и грибы, численность которых в разных вариантах эксперимента практически не изменилась. Высокая устойчивость клостридий к воздействию неблагоприятных факторов обусловлена способностью этих бактерий к спорообразованию. Клетки грибов также защищены от химического воздействия уникальными по строению и свойствам многослойными клеточными стенками [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтетические поверхностно-активные вещества широко используются в животноводстве. Согласно результатам выполненных исследований СПАВ оказывают влияние на количественный и качественный состав микроорганизмов, входящих в состав биопленок, формирующихся на поверхности навозных стоков. В вариантах без добавок СПАВ в БП преобладали грамположительные микроорганизмы *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp., *Clostridium* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., составляя 81,5 % общей численности всех МО. Внесение в ЖФ СПАВ привело к доминированию в БП грибов *Aspergillus* ssp. и *Candida* sp., что особенно отчетливо проявилось в вариантах с добавками КПАВ (53,2 %) и АПАВ (50,7 %). В этих же вариантах сформировались и самые плотные поверхностные биопленки. Под влиянием СПАВ из БП полностью исчезли *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., а в варианте с анионоактивным СПАВ – *Bacteroides* sp. и *Pseudomonas* spp. Наиболее значимое сокращение биоразнообразия МО было выявлено в варианте с добавкой АПАВ. Высокую устойчивость к воздействию всех СПАВ проявили *Clostridium* ssp.

КПАВ оказали менее выраженное влияние на микробиоту БП, что может быть обусловлено наличием полисахаридного матрикса, активно сорбирующего катионы и предохраняющего таким образом клетки МО от разрушения.

Результаты выполненных исследований могут найти применение при разработке новых способов обработки навозных стоков с целью улучшения их микробиологических характеристик и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

Список источников

1. Flemming H. C. Biofouling and me: my Stockholm syndrome with biofilms // *Water Research*. 2020. N 173. P. 115576, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115576>.
2. Влияние мутаций в синтезе липополисахаридов и полисахаридов, связывающих калькофлуор, на формирование биопленок *Azospirillum brasilense* / А. В. Шелудько, О. В. Кулибякина, А. А. Широков, Л. П. Петрова, Л. Ю. Матора, Е. И. Кацы // *Микробиология*. 2008. Т. 77. № 3. С. 358–363.
3. Flemming H. C., Wingender J. The biofilm matrix // *Nature reviews microbiology*. 2010. V. 8. N 9. P. 623–633.
4. Sun P., Gao M., Wu Y. Microflora of surface layers in aquatic environments and its usage // *Clean water and sanitation*. 2020. P. 1–9, https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_95-1.
5. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 159–165, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>.
6. Vishwakarma V. Impact of environmental biofilms: industrial components and its remediation // *Journal of Basic Microbiology*. 2020. N 60. P. 198–206, <https://doi.org/10.1002/jobm.201900569>.
7. Positive biofilms to guide surface microbial ecology in livestock buildings / V. Guéneau, J. Plateau-Gonthier, L. Arnaud, J. C. Piard, M. Castex, & Briandet // *Biofilm*. 2022. V. 4. P. 100075, <https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2022.100075>.
8. Metagenomic insights into taxonomic, functional diversity and inhibitors of microbial biofilms / M. Imchen, V. T. Anju, S. Busi, S. M. Mohan, P. Subhaswaraj, M. Dyavaiah., R. Kumavath // *Microbiological Research*. 2022. V. 265. P. 127207, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127207>.
9. Влияние различных типов поверхностно-активных веществ на эмиссию газов и микробиоту жидкой фракции навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, В. В. Рутман // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 3. С. 59–72, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>.
10. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // *Известия КГТУ*. 2023. № 68. С. 46–54, <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>.
11. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
12. Goller C. C., Romeo T. Environmental influences on biofilm development // *Bacterial Biofilms*. 2008. V. 322. P. 37–66, https://doi.org/10.1007/978-3-540-75418-3_3.

13. Synthetic and biological surfactant effects on freshwater biofilm community composition and metabolic activity / S. P. Gill, W. R. Hunter, L. E. Coulson, I. M. Banat, & J. Schelker // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2022. V. 106. N 106. P. 6847–6859, <https://doi.org/110.1007/s00253-022-12179-4>.

14. Рыбальченко О. В., Бондаренко В. М., Орлова О. Г. Ультраструктура микробных биопленок при межклеточных взаимоотношениях бактерий в сообществах // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2014. № 4. С. 87–92.

15. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms / E. Butucel, I. Balta, D. McCleery, F. Morariu, I. Pe, C. A. Popescu, L. Stef N. Corcionivoschi // *Agriculture*. 2022. V. 12. N 8. P. 1251, <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.

16. Худяков А. А. Эффективная дезинфекция и подбор дезинфектанта // *Ветеринария Кубани*. 2011. № 5. С. 26–28.

17. Cationic and anionic antimicrobial agents co-templated mesostructured silica nanocomposites with a spiky nanotopology and enhanced biofilm inhibition performance / Y. Song, Q. Sun, J. Luo, Y. Kong, B. Pan, J. Zhao, Wang Yue & C. Yu // *Nano-Micro Letters*. 2022. V. 14. N 1. P. 83.

18. Изучение адсорбционных и кинетических характеристик природных сорбентов по отношению к катионам свинца (II) / Е. О. Куличенко, Л. П. Мыкоц, Н. А. Туховская, Л. В. Лигай, О. А. Андреева, Э. Т. Оганесян // *Химия растительного сырья*. 2019. № 3. С. 335–344.

19. Никифорова Т. Е., Козлов В. А. Закономерности влияния природы полисахаридных материалов на распределение ионов тяжелых металлов в гетерофазной системе биосорбент–водный раствор // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2016. Т. 52. № 3. С. 243–271, <https://doi.org/10.7868/S0044185616030219>.

20. Феофилова Е. П. Клеточная стенка грибов: современные представления о составе и биологической функции // *Микробиология*. 2010. Т. 79. № 6. С. 723–733.

References

1. Flemming H. C. Biofouling and me: my Stockholm syndrome with biofilms. *Water Research*, 2020, no. 173, pp. 115576, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115576>.

2. Sheludko A. V., Kulibyakina O. V., Shirokov A. A., Petrova L. P., Matara L. Yu., Katsy E. I. Vliyanie mutatsiy v sinteze lipopolisakharidov i polisakharidov, svyazyvayushchikh kalkofluor, na formirovanie bioplenok *Azospirillum brasilense* [The effect of mutations affecting synthesis of lipopolysaccharides and calcofluor-binding polysaccharides on biofilm formation by *Azospirillum brasilense*]. *Microbiology*, 2008, vol. 77, no. 3, pp. 358–363.

3. Flemming H. C., Wingender J. The biofilm matrix. *Nature reviews microbiology*, 2010, vol. 8, no. 9, pp. 623–633.

4. Sun P., Gao M., Wu Y. Microflora of surface layers in aquatic environments and its usage. *Clean water and sanitation*, 2020, pp. 1–9, https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_95-1.

5. Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Ashikhmina T. Ya. Transformatsiya mikrobioty otkhodov zivotnovodstva pod vliyaniem khimicheskikh reagentov dlya ustraneniya zapakha [Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 4, pp. 159–165, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>.
6. Vishwakarma V. Impact of environmental biofilms: industrial components and its remediation. *Journal of Basic Microbiology*, 2020, no. 60, pp. 198–206, <https://doi.org/10.1002/jobm.201900569>.
7. Guéneau V., Plateau-Gonthier J., Arnaud L., Piard J. C., Castex M. Positive biofilms to guide surface microbial ecology in livestock buildings. *Biofilm*, 2022, vol. 4, pp. 100075, <https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2022.100075>.
8. Imchen M., Anju V. T., Busi S., Mohan S. M., Subhaswaraj P., Dyavaiah M. ., Kumavath R. Metagenomic insights into taxonomic, functional diversity and inhibitors of microbial biofilms. *Microbiological Research*, 2022, vol. 265, pp. 127207, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127207>.
9. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Rutman V. V. Vliyanie razlichnykh tipov poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na emissiyu gazov i mikrobiotu zhidkoy fraktsii navoznykh stokov [Influence of various types of surfactants on gas emissions and microbiota of the liquid fraction of manure effluents]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2023, no. 3, pp. 59–72, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>.
10. Pilip L. V., Syrchina N. V. Rol' ammonifikatorov v emissii ammiaka iz svinykh navoznykh stokov [The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 68, pp. 46–54, <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>.
11. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Sazanov A. V. Biologicheskoe zagryaznenie pakhotnykh zemel' otkhodami svinovodstva [Biological contamination of arable land with pig waste]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
12. Goller C. C., Romeo T. Environmental influences on biofilm development. *Bacterial Biofilms*, 2008, vol. 322, pp. 37–66, https://doi.org/10.1007/978-3-540-75418-3_3.
13. Gill S. P., Hunter W. R., Coulson L. E., Banat I. M., & Schelker J. Synthetic and biological surfactant effects on freshwater biofilm community composition and metabolic activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2022, vol. 106, no. 106, pp. 6847–6859, <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12179-4>.
14. Rybal'chenko O. V., Bondarenko V. M., Orlova O. G. Ultrastructure of microbial biofilms during intercellular interactions of bacteria in communities [Ultrastruktura mikrobnnykh bioplenok pri mezhkletochnykh vzaimootnosheniyakh bakteriy v soobshchestvakh]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*, 2014, no. 4, pp. 87–92.
15. Butucel E., Balta I., McCleery D., Morariu F., Pe I., Popescu C. A., Stef L. Corcionivoschi N. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 8, pp. 1251, <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.

16. Khudyakov A. A. Effektivnaya dezinfektsiya i podbor dezinfektanta [Effective disinfection and selection of disinfectant]. *Veterinariya Kubani*, 2011, no. 5, pp. 26–28.
17. Song Y., Sun Q., Luo J., Kong Y., Pan B., Zhao J., Yue Wang & Yu C. Cationic and anionic antimicrobial agents co-templated mesostructured silica nanocomposites with a spiky nanotopology and enhanced biofilm inhibition performance. *Nano-Micro Letters*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 83.
18. Kulichenko E. O., Mykots L. P., Tukhovskaya N. A., Ligay L. V., Andreeva O. A., Oganessian E. T. Izuchenie adsorbtsionnykh i kineticheskikh kharakteristik prirodnykh sorbentov po otnosheniyu k kationam svintsya (II) [Study of adsorption and kinetic characteristics of natural sorbents with respect to plumbum (II) ions]. *Khimiya rastitel'noy syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 335–344.
19. Nikiforova T. E., Kozlov V. A. Zakonomernosti vliyaniya prirody polisaharidnykh materialov na raspredelenie ionov tyazhelykh metallov v geterofaznoy sisteme biosorbent–vodnyy rastvor [Regularities of the effects of the nature of polysaccharide materials on distribution of heavy metal ions in a heterophase biosorbent-water solution system]. *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 243–271, <https://doi.org/10.7868/S0044185616030219>.
20. Feofilova E. P. The fungal cell wall: modern concepts of its composition and biological function. *Microbiology*, 2010, vol. 79, no. 6, pp. 711–720.

Информация об авторах

Л. В. Пилип – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии

Н. В. Сырчина – кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, старший научный сотрудник лаборатории биомониторинга ВятГУ и Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Information about the authors

L. V. Pilip – PhD in Veterinary, Associate Professor of the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry

N. V. Syrchina – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methods, Senior Researcher of the Laboratory of Biomonitoring of Vyatka State University and Komi of the research center of Ural division of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию 01.11.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 16.02.2024.

The article was submitted 01.11.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 16.02.2024.

Научная статья

УДК 631.879

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-36-50

**Дыхательная активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью
серой лесной почвы в зависимости от подхода к рекультивации**

**Алина Александровна Утомбаева¹, Анатолий Андреевич Вершинин², Эрик
Ренатович Зайнулгабидинов³, Андрей Михайлович Петров⁴**

^{1,2,3,4}Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики
Татарстан, Казань, Россия

¹ semionova.alin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7407-9108>

² A-vershinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1807-5727>

³ comp05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5372-9984>

⁴ zpram2@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5117-2609>

Аннотация. Исследовано влияние полученного при термомеханической обработке осадка сточных вод (ОСВ) гранулированного продукта на дыхательную активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью серой лесной почвы. На биологических очистных сооружениях г. Казани ОСВ подвергаются термомеханической обработке, в результате которой образуются достаточно устойчивые к влаге и механическому воздействию гранулы размером 3–9 мм с влажностью 5–10 % (далее «гранулят»). Гранулят сертифицирован и фактически является комплексным, органоминеральным удобрением, с потенциальной возможностью стимуляции микробиологических процессов, интенсификации роста растений на деградированных и загрязненных почвах. Внесение гранулята (органическое вещество – 60,4 %, N_{общ.} – 3,0 %, P_{общ.} – 1,5 %, класс опасности IV) стимулирует дыхательную активность, повышает эффективность деструкции нефтепродуктов, увеличивает фитопродуктивность растений, что указывает на возможность его применения при биологической рекультивации нефтезагрязненной почвы. Наблюдаемое снижение коэффициента микробного дыхания в присутствии гранулята отражает повышение устойчивости почвенных микроорганизмов к нефтяному загрязнению. Сравнение исследованных подходов продемонстрировало более высокую эффективность деструкции высоких концентраций нефтепродуктов в серой лесной почве при биологической рекультивации относительно технической. Предусматривающая увлажнение и перемешивание техническая рекультивация почвы в диапазоне содержания нефтепродуктов 2,7–19,7 г/кг мало влияла на дыхательную активность и продуктивность растений, при этом в варианте, содержащем 2,7 г/кг, эффективность деструкции поллютанта была выше, чем в опытах с гранулятом. При проведении рекультивационных мероприятий на почвенных образцах с высоким содержанием нефтепродуктов внесение гранулята ОСВ из расчета 10 т/га повышает эффективность их деструкции.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, рекультивация, осадок сточных вод, дыхательная активность, фитопродуктивность.

Для цитирования: Утомбаева А. А., Вершинин А. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Дыхательная активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью серой лесной почвы в зависимости от подхода к рекультивации // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 36-50. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-36-50.

Original article

Respiratory activity and phytoproductivity of oil-contaminated gray forest soil depending on remediation approach

Alina A. Utombaeva¹, Anatoliy A. Vershinin², Erik R. Zaynulgabidinov³, Andrey M. Petrov⁴

^{1,2,3,4}Institute of Ecology and Subsoil Use Problems, Academy of Sciences of RT, Kazan, Russia

¹ semionova.alin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7407-9108>

² A-vershinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1807-5727>

³ comp05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5372-9984>

⁴ zpam2@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5117-2609>

Abstract. The influence of granular product obtained by thermomechanical treatment of municipal sewage sludge on respiratory activity and phytoproductivity of oil-contaminated gray forest soil has been studied. At the biological treatment facilities of the city of Kazan sewage sludge are subjected to thermomechanical treatment, which results in the formation of granules 3–9 mm in size with moisture content of 5–10% (hereinafter referred to as granulate), which are sufficiently resistant to moisture and mechanical impact. Granulate is certified and is actually a complex, organomineral fertilizer, with the potential ability to stimulate microbiological processes, intensification of plant growth on degraded and contaminated soils. The application of granulate (organic matter – 60.4 %, N total – 3.0 %, N total – 1.5 %, hazard class IV) stimulates respiratory activity, increases the efficiency of oil products destruction, increases phytoproductivity of plants, which indicates the possibility of its application in biological remediation of oil-contaminated soil. The observed decrease of microbial respiration coefficient in the presence of granulate reflects the increase of soil microorganisms resistance to oil pollution. Comparison of the studied approaches demonstrated higher efficiency of destruction of high concentrations of petroleum products in gray forest soil under biological remediation as compared to technical remediation. Technical reclamation of soil in the range of petroleum products content of 2.7–19.7 g/kg, presupposing moistening and mixing, had little effect on respiratory activity and plant productivity, while in the variant containing 2.7 g/kg the efficiency of pollutant degradation was higher than in the experiments with granulate. When carrying out reclamation measures on soil samples with high content of oil products, application of SS granulate at the rate of 10 t/ha increases the efficiency of their destruction.

Key words: oil pollution, remediation, sewage sludge, respiratory activity, phytoproductivity.

For citation: Utombaeva A. A., Vershinin A. A., Zainulgabidinov E. R., Petrov A. M. Respiratory activity and phytoproductivity of oil-contaminated gray forest soil depending on remediation approach // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 36-50. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-36-50.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость оперативного восстановления характеристик и плодородия нефтезагрязненных почв, снижения экологических последствий и скорейшего возвращения в хозяйственный оборот требуют применения научно обоснованных экономически и экологически эффективных приемов их рекультивации.

Используемые при рекультивации нефтезагрязненных почв приемы разнообразны. Это техническая рекультивация, внесение повышающих интенсивность роста и активность аборигенной микрофлоры органических и минеральных удобрений, интродукция отдельных штаммов и комплексов микроорганизмов-деструкторов, сорбентов и окислителей, фиторекультивация, приемы и их комбинации, повышающие устойчивость и деструктивную активность микроорганизмов [1–3].

Нейтрализация поллютантов различной химической природы в почве осуществляется благодаря деятельности микробного сообщества, а сроки восстановления свойств почв определяются их активностью [4–6]. Состояние микробиоценозов техногенно загрязненных почв оценивается по таким параметрам, как качественный и количественный состав микробного пула, его ферментативная и дыхательная активность [7–11]. В настоящем исследовании для оценки биологической активности почвы использовали показатели почвенного дыхания, которые объективно отражают состояние почвенного микробиоценоза.

Эксплуатация городских очистных сооружений сопровождается образованием значительных объемов ОСВ, складирование которых отрицательно влияет на санитарную обстановку, создает потенциальную опасность для окружающей среды. На очистных сооружениях г. Казани ОСВ подвергаются обезвоживанию и термомеханической обработке, в результате которых образуются устойчивые к механическому воздействию и влаге гранулы размером 3–9 мм. Гранулят сертифицирован [12] и фактически является комплексным органоминеральным удобрением с потенциальной возможностью стимуляции микробиологических процессов, интенсификации роста растений на деградированных и загрязненных почвах [13, 14]. Большие объемы требующего утилизации гранулята ОСВ делают актуальным изучение возможности его использования при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Цель работы – изучить влияние комплекса подходов к рекультивации на дыхательную активность, фитопродуктивность и эффективность деструкции поллютанта в загрязненной нефтью серой лесной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили: серая лесная среднесуглинистая почва (гумус – 4,4 %, $N_{\text{вал.}}$ – 0,21 %, $P_{\text{подв.}}$ – 103 мг/кг, $K_{\text{подв.}}$ – 81 мг/кг, $pH_{\text{вод.}}$ – 6,3); термомеханически обработанный ОСВ очистных сооружений г. Казани (органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ.}}$ – 3,0 %, $P_{\text{общ.}}$ – 1,5 %, $P_{\text{подв.}}$ – 2000 мг/кг, $pH_{\text{сол.}}$ – 6,2, влажность – 6,3 %, класс опасности IV); парафинистая сернистая нефть Ямашинского месторождения (Республика Татарстан); растения: двудольное – вика посевная (*Vicia sativa* L.), однодольное – рожь посевная (*Secale cereale* L.). Перед экспериментом в почвенные образцы были внесены разные дозы нефти. Начальное содержание нефтепродуктов в опытных вариантах В1, В2, В3 и В4 составило 2,7 г/кг, 6,1 г/кг, 14,4 г/кг и 19,7 г/кг соответственно [15]. В часть загрязненных и незагрязненных нефтью почвенных образцов был добавлен термомеханически обработанный ОСВ из расчета 10 т/га.

Двухэтапный эксперимент включал три параллельных опыта, которые с учетом эффектов биоаугментации и биостимуляции при внесении гранулята и условий проведения были обозначены: Т – техническая рекультивация; М – микробиологическая рекультивация; ФМ – фито-микробиологическая рекультивация. В опыте Т контролем (К) служила исходная серая лесная почва, в опытах М и ФМ – исходная серая лесная почва с гранулятом.

Опыты Т, М и ФМ после первого этапа эксперимента по рекультивации были обозначены как 1Т, 1М и 1ФМ, после второго этапа – как 2Т, 2М и 2ФМ соответственно (табл. 1). Результаты первого этапа эксперимента по рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы опубликованы в [16].

На втором этапе рекультивационных мероприятий (фиторекультивация) во все варианты опытов была посеяна смесь вышеуказанных растений.

Таблица 1. Варианты опытов на этапах эксперимента
 Table 1. Variants of procedures at the stages of the experiment

Исходные образцы (варианты опытов)		
Т	М	ФМ
Незагрязненные и загрязненные нефтью почвенные образцы	Незагрязненные и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га	
1 этап (рекультивация)		
1Т	1М	1ФМ
Пробы Т после 42-суточной инкубации в условиях перемешивания и увлажнения	Пробы М после 42-суточной инкубации в условиях перемешивания и увлажнения	Пробы ФМ после 42-суточного культивирования растений в условиях увлажнения
2 этап (фиторекультивация)		
2Т	2М	2ФМ
Пробы 1Т после 42-суточного культивирования растений в условиях увлажнения	Пробы 1М после 42-суточного культивирования растений в условиях увлажнения	Пробы 1ФМ после 42-суточного культивирования растений в условиях увлажнения

Интенсивность почвенного дыхания определяли на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2», детектор – катарометр. Использовали колонку длиной 3,0 м, диаметром 3 мм и адсорбент Hayesep N 80/100 [17]. Были определены отражающие активность микробного комплекса и доступность органического вещества скорости субстрат-индуцированного ($V_{\text{сид.}}$) и базального ($V_{\text{базал.}}$) дыхания. Состояние почвенных микробиоценозов оценивали по значению коэффициента микробного дыхания (Q_r), равного отношению $V_{\text{базал.}} / V_{\text{сид.}}$ [7].

В основу этапа фиторекультивации была положена представленная в ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [18] методика. В хроническом эксперименте использовали два растения (рожь посевную и вику посевную), которые на первом этапе высевали в образцы опыта ФМ, на втором – в рекультивированные в опытах 1Т, 1М, 1ФМ почвенные образцы в соотношении 1:1 (6+6 растений). Смесь растений выращивали в пластиковых емкостях высотой 9 см и объемом 550 мл, содержащих по 400 г почвы. Условия культивирования: температура 19–25 °С, влажность 20–25 %, световой день 16 часов, интенсивность освещения 4000 Лк. Количество повторностей в каждом варианте – 3. В ходе эксперимента местоположение емкостей с растениями периодически меняли. Через две недели культивирования в емкостях оставляли по 6 растений (3+3). На 42 сутки растения аккуратно удаляли, а почвенные образцы анализировали. На втором этапе эксперимента контролями служили инкубированные в соответствии с условиями эксперимента незагрязненная почва (опыт 2Т) и незагрязненная нефтепродуктами почва с «гранулятом» (опыты 2М и 2ФМ). Побеги растений высушивали при 105 °С и определяли их массу.

Статистическая обработка результатов выполнена в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Посев растений в большинстве случаев является завершающим этапом восстановительных процедур на техногенно загрязненных почвах, что делает актуальным изучение влияния внесения гранулята ОСВ на начальных этапах рекультивационных мероприятий на рост высших растений, биохимическую активность и восстановление свойств нефтезагрязненных почв при последующей реализации фиторекультивационных мероприятий.

На первом этапе эксперимента минимальный уровень базального дыхания обнаруживался при проведении технической (Т) рекультивации. Самое интенсивное дыхание на первом этапе выявлено в образцах, восстанавливаемых по технологии фиторемедиации (1ФМ). Интродукция органического субстрата на первом этапе опыта (1М) привела к закономерному росту $V_{\text{базал.}}$, которая в контрольных образцах опытов с гранулятом была в 1,6 раза выше, чем в опыте без гранулята (рис. 1).

Выращивание растений на втором этапе эксперимента нивелировало различия в значениях $V_{\text{базал.}}$ контрольных образцов, в опытах с гранулятом она снизилась, а без гранулята не изменилась. Проведение фиторекультивационных мероприятий на загрязненных нефтью образцах во всех вариантах опытов сопровождалось 1,7–2,1-кратным снижением $V_{\text{базал.}}$. После фиторекультивации в вариантах В2–В4 скорость эмиссии CO_2 была ниже, при этом в варианте В4 опыта

2М она незначительно отличалась от полученных на первом этапе эксперимента значений (рис. 1).

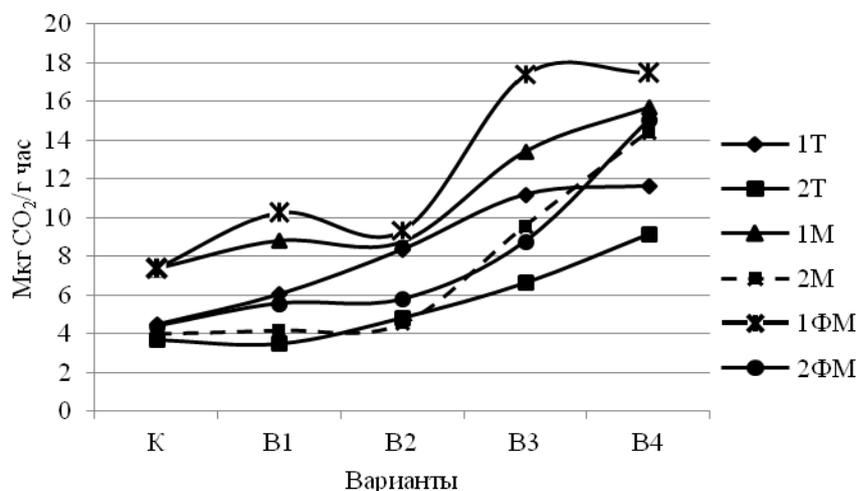


Рис. 1. Интенсивность базального дыхания ($V_{\text{базал.}}$) почвенных образцов на последовательных этапах эксперимента

Fig. 1. Intensity of basal respiration ($V_{\text{basal.}}$) of soil samples at successive stages of the experiment

Особый интерес при сравнении различных подходов к рекультивации представляет изучение субстрат-индуцированного дыхания почв, поскольку оно отражает долю жизнеспособных микробных клеток в почве, характеризуя тем самым активность и потенциал микробного пула почвы. Способ рекультивации оказывал существенное влияние на $V_{\text{сид.}}$ как незагрязненных, так и загрязненных нефтью почв. В незагрязненных почвах на первом этапе эксперимента интенсивность $V_{\text{сид.}}$ почвенных образцов опыта 1М в 2,4 и 1,5 раза превосходила показатели дыхания опытов 1Т и 1ФМ соответственно. Наиболее заметны различия $V_{\text{сид.}}$ между технологиями рекультивации проявились в загрязненных нефтью почвенных образцах (рис. 2).

На первом этапе эксперимента в варианте В1 опыта 1М показатели $V_{\text{сид.}}$ достигали чрезвычайно высоких значений (81,22 мкг CO_2 / г час). Несколько ниже были величины $V_{\text{сид.}}$ в опыте 1ФМ (рис. 2). Минимальная скорость субстрат-индуцированного дыхания зарегистрирована в опыте по технической рекультивации (1Т). Зависимость $V_{\text{сид.}}$ от концентрации поллютанта в почве индивидуальна для каждого подхода к рекультивации. Как правило, при переходе от низких к средним концентрациям поллютанта интенсивность $V_{\text{сид.}}$ увеличивалась (исключение – опыт по технической рекультивации). В большинстве случаев при достижении определенного порога концентраций нефти в почве происходил спад $V_{\text{сид.}}$. В целом добавление гранулята (технологии 1М и 1ФМ) способствовало существенной стимуляции почвенной микрофлоры загрязненных почв.

На первом этапе эксперимента в вариантах В1–В3 опытов с гранулятом наблюдалось снижение пресса нефтяных загрязнений на микробный комплекс, Q_T этих образцов был ниже, чем в опыте без гранулята (рис. 3).

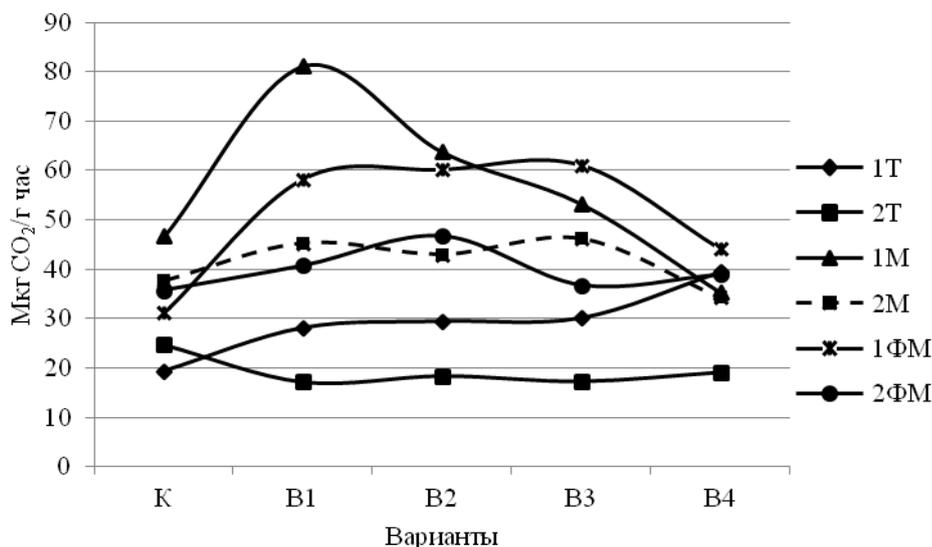


Рис. 2. Интенсивность субстрат-индуцированного дыхания ($V_{\text{сид.}}$) почвенных образцов на последовательных этапах эксперимента
Fig. 2. Intensity of substrate-induced respiration ($V_{\text{sid.}}$) of soil samples at successive stages of the experiment

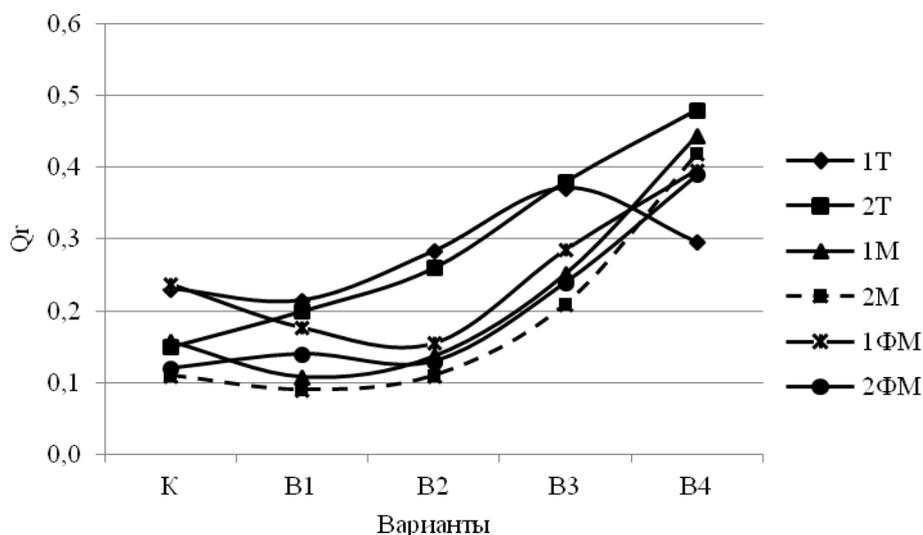


Рис. 3. Коэффициент микробного дыхания (Q_r) почвенных образцов на последовательных этапах эксперимента
Fig. 3. Microbial respiration coefficient (Q_r) of soil samples at successive stages of the experiment

Проведение фиторекультивационных мероприятий привело к снижению значений Q_r в вариантах В1–В3 опытов 2М и 2ФМ, тогда как в опыте 2Т значения Q_r в этих вариантах практически не изменилось, а в варианте В4 увеличилось до 0,48. Ориентируясь на характеризующие состояние микробного сообщества почвы, когда благоприятное значения $Q_r = 0,10–0,25$ [19], следует отметить, что в

опытах 2М и 2ФМ более стабильное состояние микробного пула наблюдалось в вариантах В1–В3, тогда как в опыте 2Т стабильное состояние микрофлоры фиксировалось только в варианте с минимальной концентрацией загрязнителя.

В опыте по микробиологической рекультивации незначительное увеличение продуктивности фитомассы вики посевной относительно опыта 2Т было зарегистрировано только в варианте В3 (5 %), при этом в опыте 2ФМ продуктивность фитомассы загрязненной почвы была выше и достоверно отличалась от опыта по технической рекультивации (рис. 4). Следует отметить, что по мере увеличения содержания загрязнителя в почве различия в продуктивности двудольного растения между опытами 2Т и 2ФМ снижались.

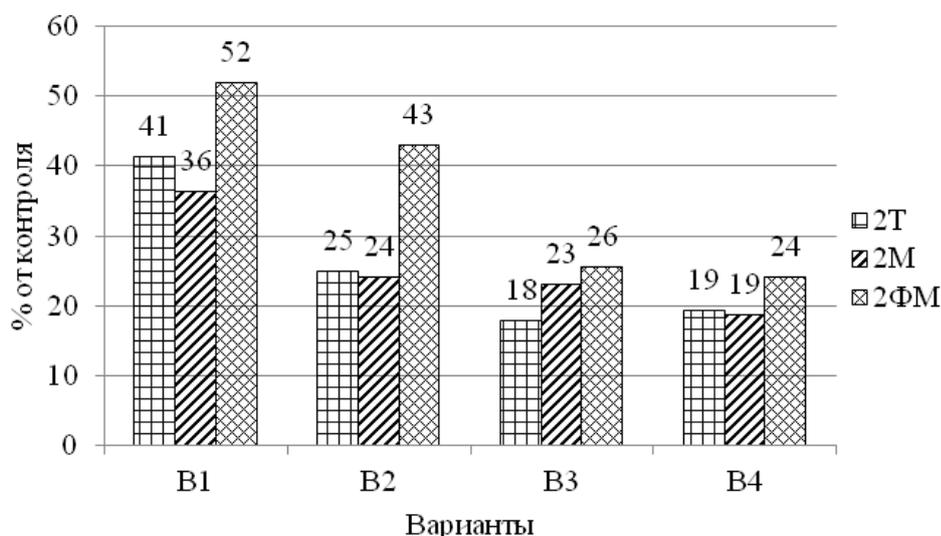


Рис. 4. Влияние гранулята на прирост зеленой массы вики посевной при разных уровнях нефтяного загрязнения

Fig. 4. Influence of granulate on common vetch green mass gain at different levels of oil pollution

Внесение гранулята повышало резистентность ржи посевной к испытанному загрязнителю. Наблюдаемый в вариантах В1–В3 опыта 2ФМ стимулирующий эффект приводил к 1,7–2,6-кратному росту продуктивности фитомассы, что указывает на положительное влияние культивирования растений на загрязненных нефтью образцах с гранулятом на первом этапе эксперимента (рис. 5).

Полученные в ходе эксперимента данные показывают, что суммарная продуктивность зеленой массы смеси выращенных растений в опытах с гранулятом была выше, чем в опыте без гранулята (табл. 2), причем в опыте, включающем два этапа фиторекультивации, суммарная «урожайность» зеленой массы на загрязненных нефтью образцах была в 2,6–3,0 раза выше, чем в опыте по микробиологической рекультивации.

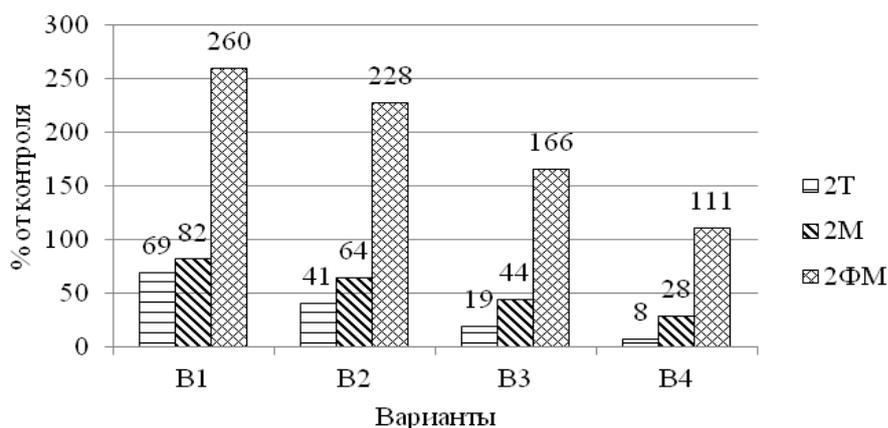


Рис. 5. Влияние гранулята на прирост зеленой массы ржи посевной при разных уровнях нефтяного загрязнения.

Fig. 5. Influence of granulate on sowing ryeat green mass gain at different levels of oil pollution

Таблица 2. Влияние гранулята на суммарную продуктивность фитомассы выращенных растений

Table 2. Influence of granulate on the total phytomass productivity of grown plants

Опыты	Варианты				
	К	B1	B2	B3	B4
	Кратность увеличения относительно опыта 2Т, раз				
2М	1,1	1,2	1,5	2,0	1,8
2ФМ	1,1	3,2	4,6	5,6	5,0

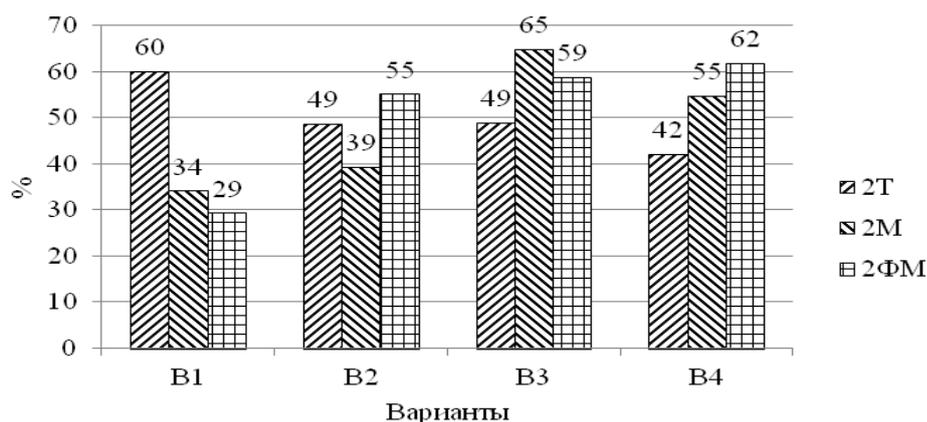


Рис. 6. Эффективность деструкции нефтепродуктов в опытах по рекультивации нефтезагрязненной почвы

Fig. 6. Efficiency of oil products destruction in experiments on the remediation of oil-contaminated soil

Сравнение эффективности деструкции нефтепродуктов в опытах показало, что в варианте В1 опыта без гранулята она была в 1,8–2,1 раза выше, чем в опытах с гранулятом, что, вероятно, определяется первоочередным окислением микроорганизмами легкодоступного субстрата при отсутствии выраженного токсического действия «низких» концентраций поллютанта (рис. 6). В вариантах с высоким начальным содержанием нефтепродуктов (В3, В4) в опытах с гранулятом интенсивность разложения нефтепродуктов была на 10–20 % выше, чем в опыте без него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В опытах по микробиологической и фито-микробиологической рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы параметры почвенного дыхания превосходили полученные при технической рекультивации параметры. При любом подходе к рекультивации посев растений в загрязненную нефтью почву сопровождался снижением (в разной степени) интенсивности базального и субстрат-индуцированного дыхания.

В опытах с гранулятом культивирование растений приводило к снижению коэффициента микробного дыхания, что указывает на повышение устойчивости микробного пула загрязненной нефтью почвы. В случае технической рекультивации снижение значений Q_T не наблюдалось, а в варианте с максимальным содержанием нефтепродуктов, напротив, отмечался некоторый его рост.

Предварительное инкубирование содержащих гранулят не загрязненных и загрязненных нефтью образцов серой лесной почвы на этапе фиторекультивации практически не влияло на продуктивность зеленой массы вики посевной, повышало продуктивность зеленой массы ржи посевной.

Проведение двух последовательных фиторекультиваций на образцах, исходно содержащих до 6,1 г/кг нефтепродуктов, снижало ингибирующее действие поллютанта на вику посевную, приводило к 4,9–19,0-кратному увеличению «урожайности» зеленой массы ржи посевной относительно образцов без гранулята, 3,3–4,1-кратному росту относительно образцов с гранулятом инкубированных на первом этапе эксперимента без растений.

Состав и свойства гранулята обеспечивают снижение токсического действия присутствующей в почве нефти, повышение устойчивости растений к поллютанту, что интенсифицирует суммарный прирост зеленой массы использованных на этапе фиторекультивации растений.

Совокупность полученных данных показывает, что при проведении рекультивационных мероприятий на почвенных образцах с высоким содержанием нефтепродуктов внесение гранулята ОСВ из расчета 10 т/га повышает эффективность их деструкции. При концентрации нефтепродуктов в почве до 2,7 г/кг в присутствии гранулята наблюдалось снижение интенсивности их разложения.

Полученные результаты демонстрируют эффективность применения гранулята в опытах по микробиологической и фито-микробиологической рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы. Некоторое снижение дыхательной активности в опыте по фиторекультивации не следует рассматривать

как негативный фактор, поскольку наличие на поверхности почвы растений повышает устойчивость микробного пула почв. Техническая рекультивация не оказывала заметного положительного воздействия на биологическую активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью почвы.

Список источников

1. Денежкина А. А. Теоретико-методическое обоснование выбора способа биоремедиации нефтезагрязненных почв // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. 2022. № 6/2. С. 9–13. DOI: 10.37882/2223–2966.2022.06–2.09.
2. Иларионов С. А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв: монография. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 194 с.
3. Технология биологической рекультивации загрязненных земель в результате аварийного разлива нефти / А. Х. Яппаров, И. А. Дегтярева, Н. Н. Хабипов, А. Я. Хидиятуллина: Казань, 2010. 59 с.
4. Гузев В. С., Левин С. В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178–219.
5. Киреева Н. А., Водопьянов В. В., Мифтахов А. М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв: монография. Уфа: Гилем, 2001. 376 с.
6. Маслов М. Н., Маслова О. А., Ежелев З. С. Микробиологическая трансформация органического вещества в нефтезагрязненных тундровых почвах после рекультивации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 70–78. DOI: 10.1134/S0032180X19010106.
7. Anderson T.-H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil Biol. Biochem. 1993. V. 25. No 3. P. 393–395.
8. Гузев В. С., Левин С. В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение. 1991. № 9. С. 50–62.
9. Полянская Л. М., Звягинцев Д. Г. Содержание и структура микробной массы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706–714.
10. Состав микробных сообществ при разном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 165–68.
11. Физиологическая активность почв при разных уровнях нефтяного загрязнения / Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, А. А. Вершинин, Н. В. Шурмина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4. С. 797–803.
12. Экологический сертификат соответствия № RA.RU.11HA15.П.00114 «Удобрение органическое гранулированное на основе осадков сточных вод, изготавливаемое серийно по ТУ 37.00.20-001-03317648-2022 на очистных

сооружениях канализации г. Казани». Выдано ООО «БИФАР-Экология», срок действия 16.08.2022–15.08.2025 г.

13. Характеристики и направления утилизации термомеханически обработанного осадка городских сточных вод / Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, А. М. Петров, Т. В. Кузнецова, И. В. Князев // *Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения»* (г. Киров, 23–24 апреля 2023 г.). Киров: ВятГУ, 2023. Книга 1. С. 411–415.

14. Влияние гранулята осадка сточных вод на характеристики серой лесной почвы и продуктивность растений / А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Т. В. Кузнецова, А. А. Вершинин, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин // *Российский журнал прикладной экологии*. 2023. № 1. С. 52–60. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.1.52.60.

15. ПНД Ф 16.1.2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. Москва, 1998 (издание 2005). 13 с.

16. Изучение возможности применения осадков сточных вод для биологической рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы / А. А. Утомбаева, А. А. Вершинин, Э. Р. Зайнулгабидинов, И. В. Князев, А. М. Петров // *Российский журнал прикладной экологии*. 2023. № 2. С. 63–68. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.2.63.69.

17. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного нефтяного загрязнения / А. М. Петров, А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин, Д. В. Акайкин, О. Ю. Тарасов // *Почвоведение*. 2016. № 7. С. 848–856. DOI: 107868/S0032180x16050130.

18. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. Введ. 2011-01-01. Москва. 2010. 15 с.

19. Благодатская Е. В., Ананьева Н. Д., Мякшина Т. Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // *Почвоведение*. 1995. № 2. С. 205–210.

References

1. Denezhkina A. A. Teoretiko-metodicheskoe obosnovanie vybora sposoba bioremediatsii neftezagryaznennykh pochv [Theoretical and methodological substantiation of the choice of bioremediation method of oil-contaminated soils]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2022, no. 6/2, pp. 9–13. DOI: 10.37882/2223–2966.2022.06–2.09.

2. Ilarionov S. A. *Ekologicheskie aspekty vosstanovleniya neftezagryaznennykh pochv* [Ecological aspects of oil-contaminated soil remediation]. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 2004, 194 p.

3. Yapparov A. Kh., Degtyareva I. A., Khabipov N. N., Khidiyatullina A. Ya. *Tekhnologiya biologicheskoy rekul'tivatsii zagryaznennykh zemel' v*

rezul'tate avariynogo razliva nefi [Technology of biological remediation of contaminated lands as a result of accidental oil spills]. Kazan, 2010, 59 p.

4. Guzev V. S., Levin S. V. Tekhnogennyye izmeneniya soobshchestva pochvennykh mikroorganizmov [Anthropogenic changes in the soil microorganism community]. *Perspektivy razvitiya pochvennoy biologii*, MAKS Press Publ., 2001, pp. 178–219.

5. Kireeva N. A., Vodop'yanov V. V., Miftakhov A. M. *Biologicheskaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv* [Biological activity of oil-contaminated soils]. Ufa, Gilem Publ., 2001, 376 p.

6. Maslov M. N., Maslova O. A., Ezhelev Z. S. Mikrobiologicheskaya transformatsiya organicheskogo veshchestva v neftezagryaznennykh tundrovyykh pochvakh posle rekul'tivatsii [Microbiological transformation of organic matter in oil contaminated tundra soils after remediation]. *Pochvovedenie*, 2019, no. 1, pp. 70–78. DOI: 10.1134/S0032180X19010106.

7. Anderson T.-H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 1993, vol. 25, no. 3, pp. 393–395.

8. Guzev V. S., Levin S. V. Perspektivy ekologo-mikrobiologicheskoy ekspertizy sostoyaniya pochv pri antropogennykh vozdeystviyakh [Prospects of ecological-microbiological expertise of soil condition under anthropogenic impacts]. *Pochvovedenie*, 1991, no. 9, pp. 50–62.

9. Polyanskaya L. M., Zvyagintsev D. G. Soderzhanie i struktura mikrobnoy massy kak pokazatel' ekologicheskogo sostoyaniya pochv [Content and structure of microbial mass as an indicator of the ecological state of soils]. *Pochvovedenie*, 2005, no. 6, pp. 706–714.

10. Kuznetsova T. V., Petrov A. M., Knyazev I. V., Khabibullin R. E. Sostav mikrobnyykh soobshchestv pri raznom soderzhanii nefteproduktov v serykh lesnykh pochvakh [Composition of microbial communities at different contents of oil products in gray forest soils]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 14, pp. 165–168.

11. Karimullin L. K., Petrov V. M., Vershinin A. A., Shurmina N. V. Fiziologicheskaya aktivnost' pochv pri raznykh urovnyakh neftyanogo zagryazneniya [Physiological activity of soils at different levels of oil pollution]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 4, pp. 797–803.

12. Ecological Certificate of Conformity № RA.RU.11NA15.P.00114 «Organic granular fertilizer on the basis of sewage sludge, produced serially according to TU 37.00.20-001-03317648-2022 at the sewage treatment facilities of Kazan city». Issued to LLC "BIFAR-Ecology" validity period 16.08.2022–15.08.2025 (In Russian).

13. Shagidullin R. R., Ivanov D. V., Petrov A. M., Kuznetsova T. V., Knyazev I. V. Kharakteristiki i napravleniya utilizatsii termomekhanicheski obrabotannogo osadka gorodskikh stochnykh vod [Characteristics and directions of utilization of thermomechanically treated municipal sewage sludge]. *Materialy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ikh resheniya»* (g. Kirov, 23–

24 апреля 2023 г.) [Proceedings of the XVIII All-Russian scientific-practical conference with international participation "Ecology of native land: problems and ways of their solution" (Kirov, April 23–24, 2023)]. Kirov, 2023, vol. 1, pp. 411–415.

14. Utombaeva A. A., Petrov A. M., Zaynulgabidinov E. R., Kuznetsova T. V., Vershinin A. A., Ivanov D. V., Shagidullin R. R. Vliyanie granulyata osadka stochnykh vod na kharakteristiki seroy lesnoy pochvy i produktivnost' rasteniy [Effect of sewage sludge granulate on gray forest soil characteristics and plant productivity]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*, 2023, no. 1, pp. 52–60. DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.52.60>.

15. PND F 16.1.2.2.22-98. Methodology for performing measurements of the mass fraction of petroleum products in mineral, organogenic, organo-mineral soils and bottom sediments by infrared spectrometry method. Moscow, 1998 (publ. 2005). 13 p. (In Russian).

16. Utombaeva A. A., Vershinin A. A., Zaynulgabidinov E. R., Knyazev I. V., Petrov A. M. Izuchenie vozmozhnosti primeneniya osadkov stochnykh vod dlya biologicheskoy rekul'tivatsii neftezagryaznennoy seroy lesnoy pochvy [Study of the possibility of sewage sludge application for biological remediation of oil-contaminated gray forest soil]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*, 2023, no. 2, pp. 63–68, <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.2.63.69>.

17. Petrov A. M., Vershinin A. A., Karimullin L. K., Akaykin D. V., Tarasov O. Yu. Dinamika ekologo-biologicheskikh kharakteristik dernovo-podzolistykh pochv v usloviyakh dlitel'nogo neftyanogo zagryazneniya [Dynamics of ecological and biological characteristics of sod-podzolic soils under conditions of long-term oil pollution]. *Pochvovedenie*, 2016, no. 7, pp. 848–856. DOI: 107868/S0032180x16050130.

18. GOST R ISO 22030-2009 Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity in relation to higher plants. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 15 p. (In Russian).

19. Blagodatskaya E. V., Anan'eva N. D., Myakshina T. N. Kharakteristika sostoyaniya mikrobnogo soobshchestva pochvy po velichine metabolicheskogo koeffitsienta [Characterization of soil microbial community condition by the value of metabolic coefficient]. *Pochvovedenie*, 1995, no. 2, pp. 205–210.

Информация об авторах

А. А. Утомбаева – аспирант, младший научный сотрудник

А. А. Вершинин – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Э. Р. Зайнулгабидинов – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

А. М. Петров – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией экологических биотехнологий

Information about the authors

A. A. Utombaeva – postgraduate student, junior researcher

A. A. Vershinin – Ph.D. in Biology, senior researcher

E. R. Zainulgabidinov – Ph.D. in Biology, senior researcher

A. M. Petrov – Ph.D. in Biology, leading researcher, head of the environmental biotechnology laboratory

Статья поступила в редакцию 20.10.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 20.10.2023; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Научная статья
УДК 637.521.475
DOI 10.46845/1997-3071-2024-73- 53-66

Совершенствование технологии рыбных тестовых полуфабрикатов с пониженным содержанием глютена

Дмитрий Леонидович Альшевский¹, Даяна Олеговна Смирнова², Марина Николаевна Альшевская³

^{1,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

²Государственное предприятие Калининградской области «Водоканал», Калининград, Россия

¹alshevsky@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>

²dayana_smirnova_97@mail.ru

³marina.alshevskaya@klgtu.ru

Аннотация. В ряде стран отказ от глютена в последнее время стал модным трендом, однако данная тенденция употребления продуктов без глютена имеет под собой обоснованную платформу, связанную с аутоиммунным наследственным заболеванием – целиакией. При этом заболевании глютен вызывает особую реакцию организма, вследствие чего нарушается всасываемость и усвояемость питательных веществ из продуктов. Одним из возможных направлений создания безглютеновых продуктов или продуктов с пониженным его содержанием является разработка тестовых полуфабрикатов, например пельменей, на основе теста, не содержащего клейковины, имеющей в своем составе белок глютен. В статье рассматривается вопрос возможности использования, с точки зрения санитарно-микробиологических показателей безопасности, промышленно произведенного сепарированного замороженного фарша аквакультурной семги в качестве начинки для пельменей. В проведенных научных исследованиях определено, что на основе теста с пониженным содержанием глютена можно производить рыбные пельмени на основе фарша семги, полученного путем сепарирования пищевых отходов после разделки рыбы. Установлено, что большинство респондентов предпочли бы новые продукты в своем рационе на основе сырья без глютена или с пониженным его содержанием, а также изготовленные с применением рыбного фарша в качестве начинки. На основе проведенных органолептических и микробиологических исследований установлены рекомендуемые сроки хранения рыбных пельменей с использованием безглютенового растительного сырья с начинкой из фарша семги. Разработана структурная технологическая схема производства рыбных пельменей с применением безглютенового теста с начинкой из фарша семги.

Ключевые слова: пониженное содержание глютена, сепарированный фарш семги, рыбные пельмени, органолептическая оценка качества, микробиологические показатели качества.

Для цитирования: Альшевский Д. Л., Смирнова Д. О., Альшевская М. Н. Совершенствование технологии рыбных тестовых полуфабрикатов с пониженным содержанием глютена // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 53–66. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-53-66.

Original article

Improving the technology of semi-finished fish dough products with reduced gluten content

Dmitriy L. Al'shevskiy¹, Dayana O. Smirnova², Marina N. Al'shevskaya³

^{1,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

²State enterprise of the Kaliningrad region "Vodokanal", Kaliningrad, Russia

¹alshevsky@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>

²dayana_smirnova_97@mail.ru

³marina.alshevskaya@klgtu.ru

Abstract. In a number of countries, avoiding gluten has recently become a fashionable trend, but this trend of eating gluten-free products has a reasonable basis associated with the autoimmune hereditary disease - celiac disease. With this disease, gluten causes a special reaction in the body, as a result of which the absorption and digestibility of nutrients from foods is impaired. One of the possible directions for creating gluten-free products or products with a reduced gluten content is the development of test semi-finished products, for example dumplings, based on gluten-free dough containing gluten protein. The article discusses the possibility of using, from the point of view of sanitary and microbiological safety indicators, industrially produced separated frozen minced aquaculture salmon as a filling for dumplings. Scientific research has determined that, based on dough with reduced gluten content, it is possible to produce fish dumplings based on minced salmon obtained by separating food waste after cutting fish. It has been found that the majority of respondents would prefer new products in their diet made from raw materials that do not contain gluten or have reduced gluten content, as well as those made using minced fish as a filling. Based on organoleptic and microbiological studies, recommended shelf life for fish dumplings using gluten-free vegetable raw materials stuffed with minced salmon has been established. A structural technological scheme has been developed for the production of fish dumplings using gluten-free dough stuffed with minced salmon.

Keywords: reduced gluten content, separated minced salmon, fish dumplings, organoleptic quality assessment, microbiological quality indicators.

For citation: Alshevskiy D. L., Smirnova D. O., Alshevskaya M. N. Improving the technology of semi-finished fish dough products with reduced gluten content. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73):53–66. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-53-66.

ВВЕДЕНИЕ

В наше время на рынке пищевых продуктов прослеживается тенденция увеличения специализированных продуктов питания без содержания или с пониженным содержанием глютена. Предпосылкой создания и разработки таких продуктов является увеличение числа граждан с аллергическими реакциями на глютен, которые уделяют внимание здоровому питанию [1–6].

Анализ ранее проведенных исследований показывает, что из ста человек только один имеет в той или иной степени данную непереносимость к глютену, при этом 16 % населения с этим заболеванием знают свой диагноз и придерживаются необходимой диеты [7].

Люди, страдающие аллергией на глютен, ограничены в употреблении в основном продуктов на основе пшеницы, ржи, других распространенных круп или производных из них, например, муки или теста, поэтому разработка безглютеновых аналогов таких продуктов является актуальным направлением [8–10].

При расширении предложений по производству аналогов продуктов питания без содержания или с пониженным содержанием глютена необходимо проведение исследований ожиданий потребителей, придерживающихся традиционного рациона питания. Одним из наиболее популярных методов изучения потребительских предпочтений и формирования ценности для потребителей является маркетинговое исследование [11,12]. Анализ предпочтений потребителей и потенциальных потребителей может быть полезен при формировании маркетинговой стратегии, позволяющей привлечь как можно больше людей, употребляющих продукты без содержания или с пониженным содержанием глютена.

Производство пельменей – одно из самых экономически рентабельных и быстро окупаемых. Сегодня на отечественном рынке существует более 550 крупных производителей и торговых марок полуфабрикатов в тесте. Высокая конкуренция заставляет производителей решить задачи для привлечения покупателей и повышения рентабельности путем разработки новых рецептов, оригинальной упаковки, повышения пищевой ценности и функциональности готового продукта, а также расширения ассортимента выпускаемой продукции.

Рыба занимает важное место в питании человека. Рыбные продукты используются в детском и диетическом рационе, так как являются источником ценных пищевых компонентов – животного белка, липидов, микро- и макроэлементов, жирорастворимых витаминов.

Семга – излюбленный объект у потребителей рыбной продукции, подходит для достаточно разнообразной пищевой обработки – парки, жарки, варки, а также для запекания, тушения, посола и копчения. При производстве различной рыбной продукции из семги остаются отходы от разделки, с помощью сепарирования можно отделить от них высококачественный фарш [13,14]. Данный фарш хорошо подходит для производства из него различных формованных полуфабрикатов, в том числе и рыбных пельменей.

Целью работы являлось совершенствование технологии рыбных тестовых полуфабрикатов с пониженным содержанием глютена.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующее: провести анализ рынка и изучить особенности производства замороженных мясных полуфабрикатов в тесте; осуществить маркетинговые исследования потребительско-

го рынка рыбных полуфабрикатов с использованием безглютенового теста (рыбных пельменей); выполнить органолептическую оценку опытных образцов рыбных пельменей из теста с пониженным содержанием глютена и начинкой из фарша семги; обосновать сроки годности рыбных пельменей с начинкой из фарша семги с использованием безглютенового теста; разработать проекты технической документации ТИ и ТУ на производство рыбных пельменей с пониженным содержанием глютена.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2022 году среди населения Калининградской области (Российская Федерация) и Ташкентской области (Республика Узбекистан) было проведено исследование с помощью платформы «Яндекс. Формы» посредством онлайн-анкетирования, в котором опросили 360 человек.

Характеристика респондентов по полу и возрасту представлена на рис. 1.

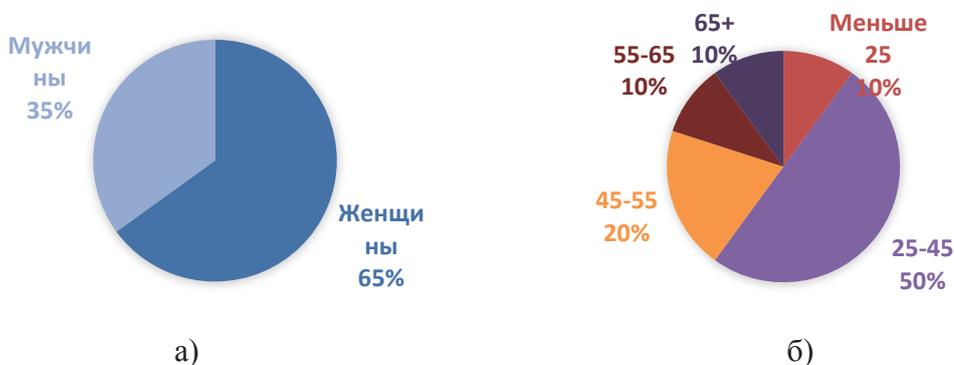


Рис. 1. Характеристика респондентов: а) пол, б) возраст
Fig. 1. Characteristics of respondents: a) gender, b) age

Уровень дохода на каждого члена семьи у опрошенных респондентов распределен следующим образом: 27,2 % – более 50 тыс. рублей, 42,3 % – от 20 до 50 тыс. рублей, 25,8 % – от 12 до 20 тыс. рублей, 4,7 % – до 12 тыс. рублей.

Распределение предпочтений респондентов по потреблению рыбных полуфабрикатов в зависимости от уровня их дохода представлен на рис. 2.

Объектами исследований являлись промышленно произведенный путем сепарирования отходов от разделки замороженный фарш аквакультурной семги, мучная смесь (льняная мука, рисовая мука, амарантовая мука, крахмал кукурузный и ксантановая камедь), вспомогательные материалы (яйцо, соль поваренная пищевая), соответствующие требованиям действующих стандартов.

Опытные образцы рыбных пельменей с начинкой из фарша семги с использованием безглютенового теста изготавливались по рецептуре, разработанной на кафедре технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета (КГТУ) [15].

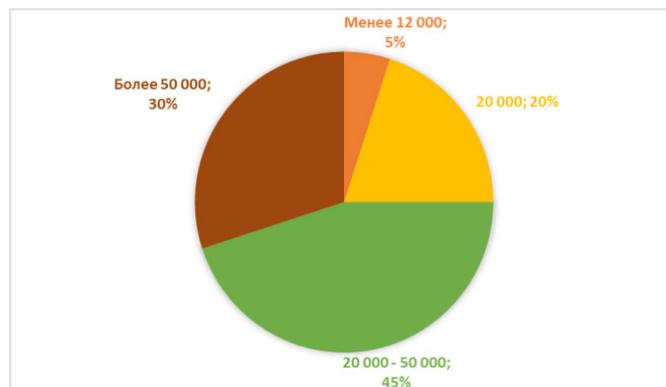


Рис. 2. Распределение предпочтений респондентов по потреблению рыбных полуфабрикатов в зависимости от уровня их дохода

Fig. 2. Distribution of respondents' preferences for consumption of semi-finished fish products depending on their income level

Органолептическая оценка качества опытных образцов рыбных пельменей с использованием теста с пониженным содержанием глютена с начинкой из фарша семги проводилась на 0, 18, 36, 54, 72, 90, 108-е сутки после предварительной термической обработки, по показателям, представленным в табл. 1, в сравнении с аналогичными рыбными пельменями, приготовленными с использованием традиционного теста из пшеничной муки.

Промышленно произведенный сепарированный фарш аквакультурной семги подвергли микробиологическим исследованиям с целью выявления его соответствия требованиям по санитарно-микробиологическим показателям безопасности и определения возможности дальнейшего применения данного фарша в производстве рыбных пельменей. Образцы рыбных пельменей с использованием теста с пониженным содержанием глютена с начинкой из фарша семги также подвергались микробиологическим исследованиям в процессе хранения при температуре -18°C в течение 108 суток для определения сроков хранения.

Микробиологические исследования, патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, определяли по ГОСТ 31659-2012, *Listeria monocytogenes* – по ГОСТ 32031-2012, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – по ГОСТ 10444.15-94, бактерии группы кишечных палочек (колиформ) – по ГОСТ 31747-2012, *Staphylococcus aureus* – по ГОСТ 31746-2012, плесневые грибы и дрожжи – по ГОСТ 10444.12-2013, сульфитредуцирующие клостридии – по ГОСТ 29185-2014, *V. parahaemolyticus* – по ГОСТ ISO/TS 21872-1-2013.

Сроки годности устанавливали в соответствии с требованиями МУК 4.2.1847 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обоснования актуальности разработок рыбных пельменей с использованием сырья с пониженным содержанием глютена с начинкой из фарша семги были проанализированы потребительские предпочтения респондентов в покупке рыбы и рыбных продуктов, которые представлены на рис. 3.

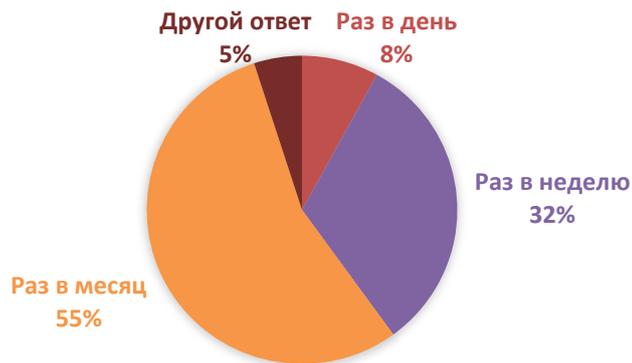


Рис. 3. Потребительские предпочтения в частоте употребления рыбы и рыбных продуктов опрошенными респондентами
Fig. 3. Consumer preferences in the frequency of consumption of fish and fish products by surveyed respondents

Из данных, представленных на рис. 3, следует, что рыбная продукция в подавляющем большинстве, хотя и очень редко, все же пользуется спросом. Большинство респондентов употребляют рыбу и рыбную продукцию на постоянной основе от одного раза в месяц до одного раза в неделю.

На рис. 4 представлены данные предпочтения респондентов в расширении ассортимента рыбных продуктов, в том числе с пониженным уровнем глютена.

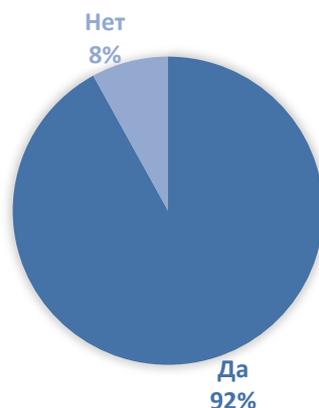


Рис. 4. Предпочтения респондентов в расширении ассортимента рыбных продуктов и продуктов с пониженным уровнем глютена
Fig. 4. Preferences of respondents in expanding the range of fish products and products containing a reduced level of gluten

Из данных, представленных на рис. 4, следует, что подавляющее большинство респондентов выступают за увеличение ассортимента выпускаемых рыбных продуктов и продуктов с пониженным содержанием в них глютена.

На втором этапе исследований проведена органолептическая оценка качества опытных образцов рыбныхпельменей с использованием сырья с пониженным содержанием глютена в сравнении с аналогичными рыбнымипельменями, приготовленными с использованием теста из пшеничной муки. Для этого была

разработана соответствующая характеристика органолептических показателей данной продукции, представленная в табл. 1.

Таблица 1. Органолептические показатели качества рыбных пельменей с использованием традиционного теста и теста с пониженным содержанием глютена
 Table 1. Organoleptic quality indicators of fish dumplings using traditional dough and dough with reduced gluten content

№ п/п	Наименование органолептического показателя	Характеристика образцов пельменей	
		Рыбные пельмени из теста с пониженным содержанием глютена	Рыбные пельмени из теста из пшеничной муки (контроль)
1.	Внешний вид готового к употреблению продукта	Образцы пельменей правильной формы, с гладкой поверхностью, не имеют трещин и прорывов, при этом тесто может быть толще, чем у контрольного образца	Образцы пельменей правильной формы, с гладкой поверхностью, не имеют трещин и прорывов
2.	Цвет теста	Равномерный и светлый с желтоватым оттенком	равномерный и светлый цвет
3.	Консистенция тестовой оболочки	Плотная, при этом допускается небольшая рельефность поверхности	Плотная, при этом допускается небольшая рельефность поверхности
4.	Консистенция фаршевой начинки	Плотная с однородной структурой	Плотная с однородной структурой
5.	Запах готового к употреблению продукта	Свойственный данному виду изделия	Свойственный данному виду изделия
6.	Вкус готового к употреблению продукта	Свойственный данному виду изделия	Свойственный данному виду изделия

В табл. 1 представлена характеристика органолептических показателей качества образцов рыбных пельменей, в соответствии с которой оценивались образцы рыбных пельменей с использованием сырья с пониженным содержанием глютена в сравнении с аналогичными рыбными пельменями, приготовленными с использованием теста из пшеничной муки, исследованных в течение 108 суток хранения при температуре -18°C . Оба образца рыбных пельменей, приготовленных с использованием теста с пониженным содержанием глютена и с использованием традиционного теста из пшеничной муки (контроль), обладали высокими органолептическими характеристиками в течение всего периода исследований. Однако образцы пельменей с пониженным содержанием в тесте глютена отличались от контрольных образцов более низкими органолептическими показателями по запаху, что в целом не ухудшало высокую органолептическую оценку исследуемых образцов.

На третьем этапе были проведены микробиологические исследования фарша семги и приготовленных образцов рыбных пельменей с использованием безглютенового теста.

В таблицах 2 и 3 представлены данные результатов микробиологических исследований дефростированного фарша семги и пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги в течение 108 суток морозильного хранения.

Таблица 2. Результаты микробиологических исследований дефростированного фарша семги

Table 2. Results of microbiological studies of defrosted minced salmon

Наименование показателя	Результаты исследований
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	не обнаружены в 25 г продукта
<i>Listeria monocytogenes</i>	не обнаружены в 25 г продукта
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	$1,4 \cdot 10^5$
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта (г)	не обнаружены в 0,001 г продукта
<i>Staphylococcus aureus</i> , не допускаются в массе продукта (г)	не обнаружены в 0,01 г продукта
<i>V. parahaemolyticus</i> , КОЕ/г, не более (г)	не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии, не допускаются в массе продукта, (г)	не обнаружены в 0,01 г
Дрожжи, КОЕ/г, не более (г)	не обнаружены
Плесени, КОЕ/г, не более (г)	не обнаружены

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что в фарше семги отклонений по нормируемым показателям от нормативных значений в образцах не установлено, кроме показателя КМАФАнМ, который немного превысил нормативное значение, что свидетельствует о высоком исходном уровне обсемененности сырья и что это обязательно необходимо учитывать при дальнейшем использовании данного фарша в производстве рыбных тестовых полуфабрикатов.

Таблица 3. Результаты микробиологических исследований пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги в течение 108 суток морозильного хранения

Table 3. Results of microbiological studies of dumplings using gluten-free dough stuffed with minced salmon during 108 days of frozen storage

№ п/п	Наименование показателя	Микробиологические показатели рыбных пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги после морозильного хранения (сут)						
		0	18	36	54	72	90	108
1.	Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	1,0* 10 ³	0,5* 10 ³	0,8* 10 ³	1,3* 10 ³	1,7* 10 ³	2,0* 10 ³	3,9* 10 ³
2.	Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	не обнаружены в 25 г продукта						
3.	<i>Listeria monocytogenes</i>	не обнаружены в 25 г продукта						
4.	Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта (г)	не обнаружены в 1 г продукта						
5.	<i>Staphylococcus aureus</i> , не допускаются в массе продукта (г)	не обнаружены в 1 г продукта						
6.	<i>V. parahaemolyticus</i> , КОЕ/г, не более (г)	не обнаружены						
7.	Сульфитредуцирующие клостридии, не допускаются в массе продукта, (г)	не обнаружены в 1 г						
8.	Дрожжи, КОЕ/г, не более (г)	не обнаружены						
9.	Плесени, КОЕ/г, не более (г)	0,34 x 10 ²						

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что в процессе хранения до 108 суток в образцах рыбных пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги наличие патогенных бактерий рода *Salmonella* и *Listeria monocytogenes*, условно-патогенных бактерий (сульфиредуцирующие клостридии), микроорганизмов порчи (плесени и дрожжи), бактерий группы кишечных палочек (колиформы) (БГКП) и условно-патогенных *S. aureus* не выявлено. Также показатель КМАФАнМ в течение всего срока хранения данных образцов не превысил допустимые значения (не более 1,0 · 10⁴ КОЕ/г), при этом на 108 сутки хранения отмечалось увеличение общей бактериальной обсемененности продукта, однако показатель нормативного значения превышен не был.

В результате проведенных органолептических и микробиологических исследований определено, что рекомендуемый срок хранения пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги, в течение которого

данный продукт сохранит свой товарный вид и качество, составляет 90 дней согласно МУК 4.2.1847 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» при температуре -18°C .

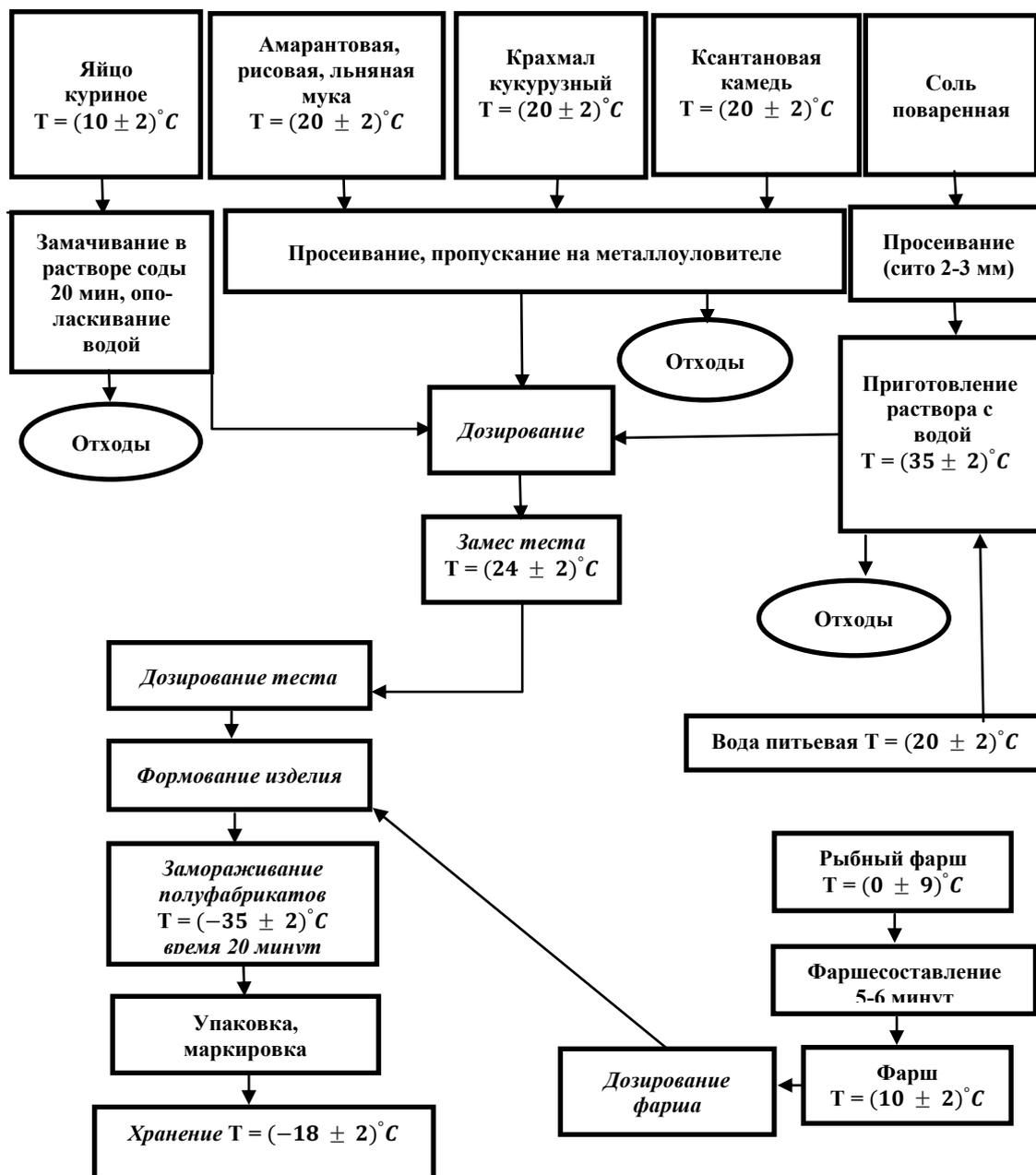


Рис. 5. Структурная технологическая схема производства рыбных пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из сепарированного фарша семги

Fig. 5. Structural technological scheme for the production of fish dumplings using gluten-free dough stuffed with separated minced salmon

Технологический процесс производства пищевой продукции осуществляется пооперационно и представляется в виде структурной технологической схемы производства, указанной в технологической инструкции, а показатели качества готовой продукции приводятся в технических условия на готовую продукцию.

Структурная технологическая схема производства рыбных пельменей с использованием безглютенового растительного сырья с начинкой из фарша представлена на рис. 5.

В КГТУ разработан проект технической документации (технологическая инструкция и технические условия) на производство рыбных пельменей с использованием безглютенового теста с начинкой из фарша семги.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что большинство опрошенных респондентов выступают за увеличение ассортимента выпускаемых рыбных продуктов и продуктов с пониженным содержанием в них глютена.
2. На основании органолептических и микробиологических показателей определен срок хранения рыбных пельменей с использованием безглютенового растительного сырья с начинкой из фарша семги при температуре – 18 °С, который составляет 90 суток.
3. Разработаны структурная технологическая схема, проект технической документации (технические условия, технологическая инструкция) для производства рыбных пельменей с использованием безглютенового растительного сырья с начинкой из фарша семги

Список источников

1. О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 027/2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения: 22.10.2023).
2. Current status and future prospects of sensory and consumer research approaches to gluten-free bakery and pasta products / Capriles V., Aguiar E., Santos F., Aguilar M., Melo B., Tagliapietra B., Scarton M., Clerici M., Conti A. // Food Research International, 2023. V. 173, Part 2. URL: <https://doi.org/10.3390/foods11203192> (дата обращения: 22.10.2023).
3. Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product / Coronel E., Guiotto E., Aspiroz M., Tomas M., Nolasco S., Capitani M. // LWT – Food Science and Technology. 2021. V. 141. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110916> (дата обращения: 22.10.2023).
4. Патфенов А. И., Крумс Л. М., Сабельникова Е. А. Современная концепция, дефиниция и классификация целиакии // V съезд научного общества гастроэнтерологов России: материалы. Москва: Анахарсис, 2005. С. 473–475.
5. Парфенов А. И. Целиакия. Эволюция представлений о распространенности клинических проявлений и значимости этиотропной терапии. Москва: Анахарсис, 2007. 376 с.

6. Альшевский Д. Л. Технология замороженных полуфабрикатов из водных биологических ресурсов: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. 188 с.

7. Updates in the diagnosis and management of coeliac disease / Shiha M., Zammit S., Elli L., Sanders D., Sidhu R. // *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. 2023. V. 64–65. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2023.101843> (дата обращения: 22.10.2023).

8. Celiac Disease: An Academy of Nutrition and Dietetics Evidence-Based Nutrition Practice Guideline / McDermid J., Almond M., Roberts K., Germer E., Geller M., Taylor T., Sinley R., Handu D. // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2023, V. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2023.07.018> (дата обращения: 22.10.2023).

9. Celiac disease: mechanisms and emerging therapeutics / Harrison A., Chaitan K. // *Trends in Pharmacological Sciences*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tips.2023.09.006> (дата обращения: 22.10.2023).

10. Бедо Е. П., Альшевская М. Н. Основные разработки мучных и кондитерских изделий с минимальным содержанием глютена и сахара / IX Международный Балтийский морской форум: материалы. Калининград, 2021. С. 6–10.

11. Коржавина Ю. Н., Альшевский Д. Л., Смирнова Д. О. Маркетинговые исследования рынка рыбных колбасных изделий с добавлением имитационного шпика / Международная практическая конференция «Рыбопереработка-2021. Проблемы и решения»: материалы. Москва: Перо, 2021. С.22–27.

12. Альшевская М. Н., Кочина А. А. Исследование потребительских предпочтений аналогов йогуртов на растительной основе // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2023. № 81. С. 100–109.

13. Co-products from the Atlantic salmon filleting industry – their properties, stability and potential as human food ingredients / Ulleberg D., Sletten I., Jakobsen A., Svenning J., Lerfall J. // *LWT- Food Science and Technology*. 2023 V. 180, URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114673> (дата обращения: 22.10.2023).

14. Nutritional value and storage stability in commercially produced organically and conventionally farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Norway / Esaiassen M., Jensen T., Edvinsen G., Otnæs C., Ageeva T., Mæhre K. // *Applied Food Research*. 2022. V. 2. Iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100033> (дата обращения: 22.10.2023).

15. Смирнова Д. О., Альшевский Д. Л., Альшевская М. Н. Разработка рецептуры полуфабрикатов с использованием безглютенового растительного сырья / X Международный Балтийский морской форум: материалы. Калининград, 2022. С. 97–101.

References

1. Tekhnicheskiiy reglament tamozhennogo soyuza TR TS 027.2012 «O bezopasnosti ot del'nykh vidov spetsializirovannoy pishchevoy produktsii, v tom chisle dieticheskogo lechebnogo i dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya», available at: <https://docs.cntd.ru/document/902352823> (Accessed 22 October 2023).

2. Capriles V., Aguiar E., Santos F., Aguilar M., Melo B., Tagliapietra B., Scarton M., Clerici M., Conti A. Current status and future prospects of sensory and

consumer research approaches to gluten-free bakery and pasta products. *Food Research International*, 2023, vol. 173, Part 2, available at: <https://doi.org/10.3390/foods11203192> (Accessed 24 March 2021).

3. Coronel E., Guiotto E., Aspiroz M., Tomas M., Nolasco S., Capitani M. Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product. *LWT – Food Science and Technology*, 2021, vol. 141, available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110916> (Accessed 22 October 2023).

4. Patfenov A. I., Krums L. M., Sabel'nikova E. A. Sovremennaya kontseptsiya, definitsiya i klassifikatsiya tseliakii [Modern concept, definition and classification of celiac disease]. *V s'ezd nauchnogo obshchestva gastroenterologov Rossii: materialy* [V Congress of the Scientific Society of Gastroenterologists of Russia: materials]. Moscow, Anakharsis Publ., 2005, pp. 473–475.

5. Parfyonov A. I. Tseliakiya. *Evolyutsiya predstavleniy o rasprostrannennosti klinicheskikh proyavleniy i znachimosti etiotropnoy terapii* [Evolution of ideas about the prevalence of clinical manifestations and the significance of etiotropic therapy]. Moscow, Anakharsis Publ., 2007, 376 p.

6. Al'shevskiy D. L. *Tekhnologiya zamorozhennykh polufabrikatov iz vodnykh biologicheskikh resursov* [Technology of frozen semi-finished products from aquatic biological resources]. Kaliningrad, FGBOU VO «KGTU» Publ., 2016. 188 p.

7. Shiha M., Zammit S., Elli L., Sanders D., Sidhu R. Updates in the diagnosis and management of coeliac disease. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. 2023, vol. 64–65, available at: <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2023.101843> (Accessed 24 March 2021).

8. McDermid J., Almond M., Roberts K., Germer E., Geller M., Taylor T., Sinley R., Handu D. Celiac Disease: An Academy of Nutrition and Dietetics Evidence-Based Nutrition Practice Guideline. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2023, available at: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2023.07.018> (Accessed 22 October 2023).

9. Harrison A., Chaitan K. Celiac disease: mechanisms and emerging therapeutics. *Trends in Pharmacological Sciences*, 2023, available at: <https://doi.org/10.1016/j.tips.2023.09.006> (Accessed 24 March 2021).

10. Bedo E. P., Al'shevskaya M. N. Osnovnye razrabotki muchnykh i konditerskikh izdeliy s minimal'nym soderzhaniem glyutena i sakhara [Basic developments of flour and confectionery products with minimum content of gluten and sugar]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Proceedings of IX International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2021, pp. 6–10.

11. Korzhavina Y. N., Al'shevskiy D. L., Smirnova D. O. Marketingovye issledovaniya rynka rybnykh kolbasnykh izdeliy s dobavleniem imitatsionnogo shpika [Marketing research for the development of grilled fish sausage recipes with imitation bacon application]. *Materialy mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii «Rybpere-rabotka -2021. Problemy i resheniya»* [Proceedings of the international practical conference “Fish processing-2021. Problems and solutions”]. Moscow, Pero Publ., 2021, pp. 22–27.

12. Al'shevskaya M. N., Kochina A. A. Issledovanie potrebitel'skikh predpochteniy analogov yogurtov na rastitel'noy osnove [Research of consumer preferences of plant-based yogurt alternatives]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*, 2023, no. 81, pp. 100–109.

13. Ulleberg D., Sletten I., Jakobsen A., Svenning J., Lerfall J. Co-products from the Atlantic salmon filleting industry – their properties, stability and potential as human food ingredients. *LWT – Food Science and Technology*, 2023 vol. 180, available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114673> (Accessed 22 October 2023).

14. Esaiassen M., Jensen T., Edvinsen G., Otnæs C., Ageeva T., Mæhre K. Nutritional value and storage stability in commercially produced organically and conventionally farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Norway. *Applied Food Research*, 2022, vol. 2, iss. 1, available at: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100033> (Accessed 22 October 2023).

15. Smirnova D. O., Al'shevskiy D. L., Al'shevskaya M. N. Razrabotka re-tseptury polufabrikatov s ispol'zovaniem bezglyutenovogo rastitel'nogo syr'ya [Development of a formula of fish semi-finished products using gluten free plant raw materials]. *Materialy X Mezhdunarodnogo Baltijskogo morskogo foruma* [Proceedings of X International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2022, pp. 97–101.

Информация об авторах

Д. Л. Альшевский – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»

Д. О. Смирнова – техник высшей квалификации

М. Н. Альшевская – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»

Information about the author

D. L. Al'shevskiy – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

D. O. Smirnova – highly qualified technician

D. L. Al'shevskaya – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

Статья поступила в редакцию 19.10.2023; одобрена после рецензирования 29.10.2023; принята к публикации 30.11.2023.

The article was submitted 19.10.2023; approved after reviewing 29.10.2023; accepted for publication 30.11.2023.

Научная статья

УДК 637.5.037; 641.512.4

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-67-81

Исследование влияния гидратированного порошка топинамбура на функционально-технологические и реологические показатели мясного фарша для рубленых полуфабрикатов

Наталья Александровна Муравьева¹, Лариса Степановна Байдалинова², Галина Егоровна Степанцова³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ natahlie98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7783-5143>

² ls.baydalina@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4308-4326>

³ galina.stepanthova@klgtu.ru <https://orcid.org/0009-0002-3051-7695>

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния на показатели мясного фарша растительной добавки, используемой с целью получения комбинированного мясного рубленого функционального продукта с пониженной гликемической нагрузкой. К комбинированной продукции на основе мясного и растительного сырья относятся мясные рубленые полуфабрикаты (котлеты). Комбинирование мясного сырья с растительным, обладающим функциональными свойствами и имеющим низкий гликемический индекс, позволяет создавать продукцию, пригодную для питания больных сахарным диабетом или для потребления ее в целях профилактики данного заболевания. В экспериментах в качестве мясного сырья использовали смесь говядины жилованной 2-го сорта, свинины жилованной полужирной и свиного шпика в определенном соотношении, в качестве растительной добавки – порошок топинамбура вместо используемого при изготовлении котлет хлеба пшеничного. Порошок топинамбура гидратировали в соотношении с водой 1:2 при температуре 60 °С. Измельченное на волчке мясное сырье тщательно перемешивали с гидратированным порошком топинамбура, количество которого изменяли от 5 до 25 %. Контролем служил мясной фарш без порошка топинамбура. Исследованы функционально-технологические и реологические показатели комбинированного фарша, предназначенного для производства мясных рубленых полуфабрикатов (котлет), обладающих функциональными свойствами по содержанию инулина. Изучено влияние порошка топинамбура на предельное напряжение сдвига, адгезию и эффективную вязкость комбинированного фарша, а также на его функционально-технологические свойства – влагоудерживающую и жиросвязывающую способности. Установлено, что при внесении в фарш для котлет 20 % гидратированного порошка топинамбура обеспечивается соответствие его требованиям, предъявляемым к фаршам для мясных рубленых полуфабрикатов по реологическим показателям, функционально-технологическим свойствам и органолептическим характеристикам. Замена в рецептуре хлеба пшеничного на порошок топинамбура снижает гликемическую нагрузку продукта.

© Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С., Степанцова Г. Е., 2024

Ключевые слова: мясной фарш, полисахарид, инулин, порошок топинамбура, рубленые полуфабрикаты, функционально-технологические свойства, реологические показатели, функциональный продукт.

Для цитирования: Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С., Степанцова Г. Е. Исследование влияния гидратированного порошка топинамбура на функционально-технологические и реологические показатели мясного фарша для рубленых полуфабрикатов // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 67-81. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-67-81.

Original article

Investigation of the effect of hydrated jerusalem artichoke powder on the functional, technological and rheological parameters of minced meat for chopped semi-finished products

Natal'ya A. Murav'eva¹, Larisa S. Baydalinova², Galina E. Stepansova³

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ natahlie98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7783-5143>

² ls.baydalinova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4308-4326>

³ galina.stepantsova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3051-7695>

Abstract. The results of a study of the effect on the indicators of minced meat of a vegetable additive used to obtain a combined minced meat functional product with a reduced glycemic load are presented. Combined products based on meat and vegetable raw materials include minced meat semi-finished products (cutlets). Combining meat raw materials with vegetable raw materials, which have functional properties and have a low glycemic index, allows you to create products suitable for nutrition of patients with diabetes mellitus or for consumption in order to prevent this disease. In the experiments, a mixture of grade 2 veneered beef, semi-fat veneered pork and pork fat in a certain ratio was used as meat raw materials, jerusalem artichoke powder was used as a vegetable additive instead of wheat bread used in the manufacture of cutlets. Jerusalem artichoke powder was hydrated at a ratio of 1:2 with water at a temperature of 60 ° C. The raw meat crushed on a spinning top was thoroughly mixed with hydrated jerusalem artichoke powder, the amount of which was changed from 5 to 25%. The control was minced meat without jerusalem artichoke powder. The functional, technological and rheological parameters of combined minced meat intended for the production of minced meat semi-finished products (cutlets) with functional properties in terms of inulin content have been studied. The effect of jerusalem artichoke powder on the ultimate shear stress, adhesion and effective viscosity of the combined minced meat, as well as on its functional and technological properties – moisture-retaining and fat-binding properties. It was found that when 20% hydrated jerusalem artichoke powder is added to minced meat for cutlets, its compliance with the requirements for minced meat for minced meat semi-finished products is ensured according to rheological parameters, functional and technological properties and organoleptic characteristics, Replacing wheat bread with jerusalem artichoke powder reduces the glycemic load of the product.

Keywords: minced meat, polysaccharide, inulin, jerusalem artichoke powder, chopped semi-finished products, functional and technological properties, rheological indicators, functional product.

For citation: Muravieva N. A., Baydalinova L. S., Stepantsova G. E. Investigation of the effect of hydrated jerusalem artichoke powder on the functional, technological and rheological parameters of minced meat for chopped semi-finished products. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 67-81. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-67-81.

ВВЕДЕНИЕ

Топинамбур (лат. *Helianthus tuberosus*) – многолетнее травянистое клубненосное растение, которое успешно выращивают в различных регионах. Его клубни широко применяются в пищевых целях и используются при производстве хлебобулочных изделий для снижения гликемического индекса [1, 2], мясных кулинарных изделий для повышения биологической ценности [3], в качестве источника пищевых волокон [4]. Клубни топинамбура рекомендуются также для получения заменителя кофе, предназначенного для людей, больных сахарным диабетом [5].

В состав комбинированных продуктов растительное сырье целесообразно вносить в виде порошков [6]. При высушивании за счет удаления влаги до 5–10 % в нем происходит концентрирование биологически активных веществ (БАВ) в 8–12 раз. Сухой продукт имеет высокую степень биологической доступности БАВ, что чрезвычайно важно для получения выраженного клинического эффекта.

Особую ценность топинамбура составляет инулин, который благодаря своему составу, технологическим и сенсорным свойствам рассматривается как ценный пребиотик и в то же время как заменитель жира. Кроме того, цена на инулин на рынке невысока, что положительно сказывается на себестоимости конечного продукта

Инулин в чистом виде нашел применение в пищевой промышленности, мясной, молочной отраслях, его используют для улучшения качества эмульсий и как заменитель жира [7, 8]. Для увеличения количества замещаемого жира используют суспензию, для которой длинноцепочечный инулин перемешивают в куттере с водой, нагретой до 75 °С. Полученная суспензия может заменять до 30 % жира без негативного влияния на органолептические показатели продукта [9].

При нагревании инулина с белками образуется плотная матрица, повышающая влагоудерживающую способность мясного продукта. Внесение в качестве добавки в мясной фарш инулина способствует снижению энергии фазового перехода замораживания и плавления. В результате при замораживании и последующем размораживании консистенция такого продукта не сильно изменяется [9].

Для лечебных и профилактических целей актуальным на данный момент является производство комбинированных пищевых продуктов. В ассортимент комбинированной продукции на основе мясного и растительного сырья включаются мясные рубленые полуфабрикаты. Комбинирование мясного сырья с растительным, характеризующимся низким гликемическим индексом (порошок из то-

пинамбура), позволяет создавать продукцию, обогащенную инулином и пригодную для питания людей, больных сахарным диабетом, или для потребления в целях профилактики данного заболевания.

Цель работы – исследование влияния гидратированного порошка топинамбура на функционально-технологические и реологические показатели мясного фарша, используемого для производства мясных рубленых полуфабрикатов, являющихся функциональными продуктами по содержанию пищевых волокон и инулина.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются образцы мясного фарша с различным содержанием гидратированного порошка топинамбура. В настоящей работе использован порошок из топинамбура, производимый ООО «Дары Памира» по ТУ 9164-010-53911842-12; химический состав порошка исследовался ранее [10]. Порошок топинамбура гидратировали (температура воды 60 °С) при соотношении с водой 1:2.

Массовые доли влаги в образцах определяли по ГОСТ 33319-2015, белка (сырого протеина) – по ГОСТ 25011-2017 усовершенствованным методом Кьельдаля на анализаторе VELP Scientica UDK 127 (Италия), жира – по ГОСТ 23042-2015 и минеральных веществ (золы) – по ГОСТ 31727-2012.

Водоудерживающую способность (ВУС) фарша определяли по методу Г. Грау и Р. Хамма, основанному на выделении из исследуемого продукта воды при прессовании (ВНИИМП), и рассчитывали в процентах к массе навески.

Определение жиरोудерживающей способности (ЖУС) проводили с использованием рафинированного растительного масла, не связанная фаршем часть которого отделялась центрифугированием в течение 5 минут при 2800 об./мин.

Определение реологических показателей (предельное напряжение сдвига, адгезия и эффективная вязкость) [11] производили на анализаторе текстуры Brookfield CT3 Texture Analyzer (США), предельное напряжение сдвига определяли в соответствии с ГОСТ Р 50814-95 «Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором». Давление подпрессовки – 40 г/см², продолжительность погружения конуса – 180 с, использовали конический индентор с углом при вершине $2\alpha = 60^\circ$.

Определение адгезии на анализаторе текстуры Brookfield CT3 проводили в режиме (ADHESION), при котором задается скорость движения зонда, глубина погружения зонда, на табло фиксируется сила, обозначающаяся как адгезионная. В качестве зонда используется алюминиевый цилиндр диаметром 70 мм, глубина погружения зонда в образец – 10 мм.

Определение эффективной вязкости также проводили на анализаторе текстуры Brookfield CT3 в режиме, при котором задается скорость движения зонда и глубина его погружения, выдается сила, обозначающаяся как FINAL LOAD. В качестве зонда используется алюминиевый цилиндр.

Органолептическую оценку готовых мясных котлет контрольных и опытных после термической обработки проводили в соответствии с ГОСТ 9959-2015 и ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ», результаты выражали в баллах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав измельченной смеси мясного сырья (говядины жилованной 2-го сорта, свинины жилованной полужирной и шпика свиного), использованной в экспериментах, представлен на рис. 1.

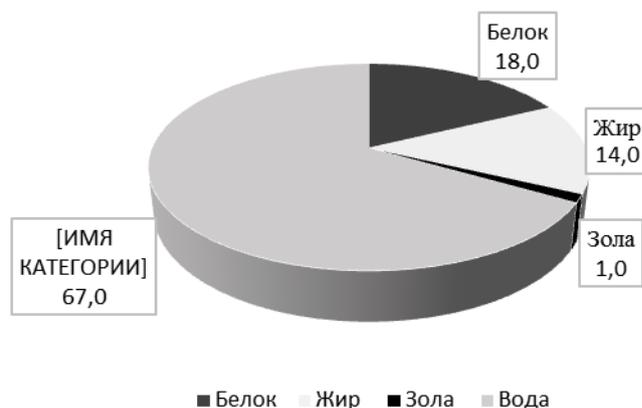


Рис. 1. Общий химический состав смеси мясного сырья, г/100 г
 Fig. 1. Total chemical composition of the meat raw material mixture, g/100 g

Мясной фарш – это сложная комплексная система, главным компонентом которой является белок. Для оценки структуры такой системы необходимо учитывать взаимодействие белка с другими компонентами фарша (жир, вода, минеральные вещества и др.), а также изменение белка в ходе технологического процесса [10, 11].

Гидратированный порошок топинамбура вносили в измельченную смесь в количествах 5, 10, 15, 20 и 25 % к массе смеси. Порошок топинамбура, полученный от ООО «Дары Памира», имеет следующий химический состав (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав порошка топинамбура, г/100 г [12]
 Table 1. Chemical composition of jerusalem artichoke powder, g/100 g [12]

Показатели	Содержание, г / 100 г
Вода	5,9±0,1
Белок	5,3±0,1
Жиры	0,47±0,02
Минеральные вещества	5,3±0,1
Углеводы	83,0±0,3
в том числе:	
Инулин	31,6±2,32
Клетчатка	5,3±0,1
Пектин	12,4±0,6
Дубильные вещества	0,44±0,05
Экстрактивные вещества	76,4±1,1

Из $83,0 \pm 0,3$ % углеводов порошка топинамбура более 31 % приходится на инулин и 18 % – на клетчатку и пектин. Содержание влаги в гидратированном при соотношении 1:2 порошке топинамбура $68,6 \pm 0,6$ %.

Замена в фаршевой смеси гидратированным порошком топинамбура мясного сырья влияет на ее химический состав (рис. 2). Необходимо отметить, что влажность фарша не повышается. При количествах гидратированного порошка топинамбура 20 и 25 % содержание влаги в фарше повышается незначительно (67,44 и 67,53 % против 67,0 % в контрольном образце).

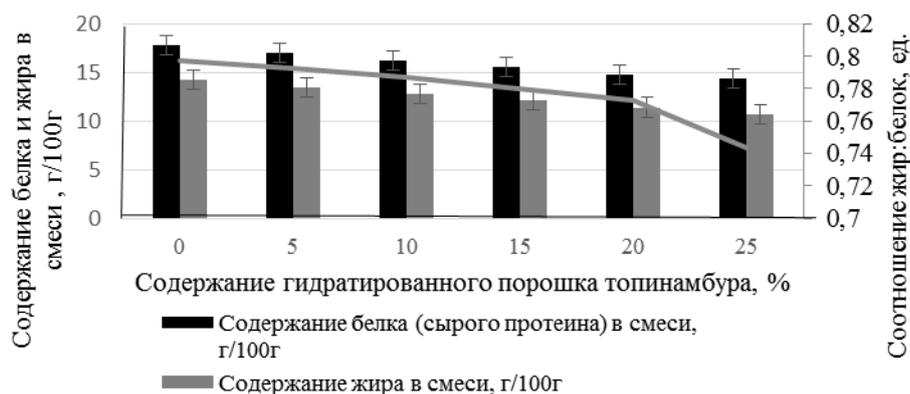


Рис. 2. Влияние дозировок гидратированного порошка топинамбура на содержание в фаршевой смеси белка и жира

Fig. 2. Effect of dosages of hydrated Jerusalem artichoke powder on protein and fat content in minced meat mixture

С увеличением количества гидратированного порошка топинамбура содержание белка в составе фаршевой смеси снижается с 18,00 % (контроль, без порошка топинамбура) до 13,50 % (25 % порошка топинамбура), содержание жира – с 14,00 % до 10,50 %. Получаемый при этом полуфабрикат соответствует требованиям ГОСТ Р 52675-2006 «Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия», по которому содержание белка должно быть не ниже 10 %, жира – не более 30 %. В используемой смеси мясного сырья содержание жира довольно низкое, и различия между исходным мясным фаршем и фаршем с гидратированным порошком топинамбура небольшие. Важный показатель – соотношение жир:белок (рис. 2) – во всех образцах от 0,743:1,0 до 0,790:1,0, т. е. достаточно высок и соответствует рекомендациям специалистов мясной отрасли [10, 11]. При соотношении жира и белка в фарше, находящемся в диапазоне от 0,6:1,0 до 0,8:1,0 (при этом учитывается только белок мышечной ткани), своих оптимальных значений достигает эмульгирующая способность белка в системе [10]. Большого влияния на реологические показатели фарша содержание жира оказывать не должно. От 1,19 до 5,95 % повышаются в опытных образцах количества углеводов при замене гидратированным порошком топинамбура от 5 до 25 % мясного сырья.

Среди функционально-технологических характеристик мясного сырья важная роль принадлежит водоудерживающей способности (ВУС), определяющей в продукте сочность, выход, величину потерь при тепловой обработке.

Результаты оценки ВУС комбинированного фарша представлены на рис. 3.

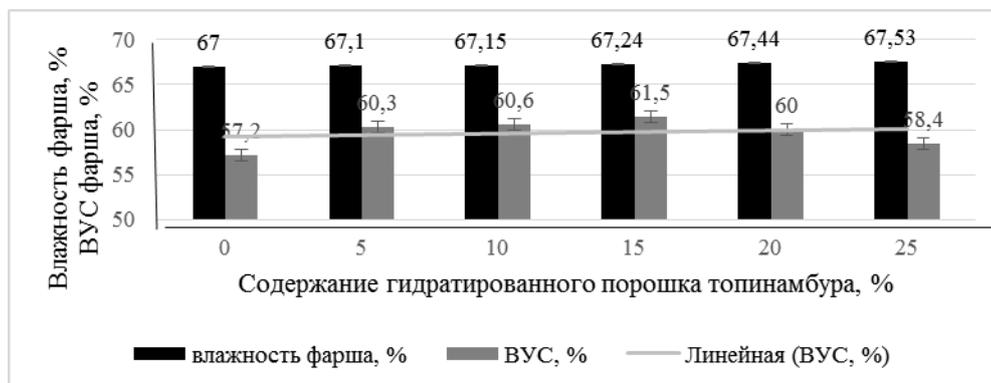


Рис. 3. Зависимость влажности и ВУС фарша от содержания в нем гидратированного порошка топинамбура

Fig. 3. The dependence of the humidity and VUS of minced meat on the content of hydrated Jerusalem artichoke powder in it

Увеличение ВУС фарша при добавлении гидратированного порошка топинамбура обеспечивается наличием в топинамбуре полисахаридного комплекса, который способствует удерживанию влаги, и белков с высокой гидрофильностью. Порошок топинамбура способствует некоторому повышению pH фарша [3, 13], что также влияет на повышение водоудерживающей способности его белков.

Было установлено [14], что дозировка в фарше гидратированного порошка топинамбура должна составлять 20 %, т. к. при таком количестве обеспечивается функциональность котлет по содержанию инулина. Исследования показали, что ВУС у такого фарша (рис. 3) высокая и превышает значения контрольного образца.

Качество мясных рубленых изделий определяется не только оптимальным развитием процессов влагоудерживания, но и жирудерживающей способностью (ЖУС) – возможностью удерживать жир в эмульгированном состоянии, а также технологической устойчивостью полуфабрикатов при тепловой обработке. Изменение ЖУС комбинированного фарша может происходить как за счет строения молекул инулина топинамбура, так и за счет снижения содержания белка в системе. Зависимость ЖУС исследуемого фарша от дозировки порошка топинамбура показана на рис. 4.

По полученным результатам можно заключить, что при увеличении дозировки гидратированного порошка топинамбура до 15 % ЖУС повышается. При содержании порошка топинамбура 20 % количество белка в фарше несколько снижается и понижается ЖУС, но даже до 25 % гидратированного порошка топинамбура к массе приготавливаемого фарша его ЖУС остается не ниже уровня контрольного образца.

Повышение ЖУС можно объяснить тем, что основные компоненты животных жиров – триацилглицериды – характеризуются наличием в структуре гидрофобных углеродных группировок, которые в обычных условиях нерастворимы в воде и не образуют с ней устойчивых дисперсных систем.

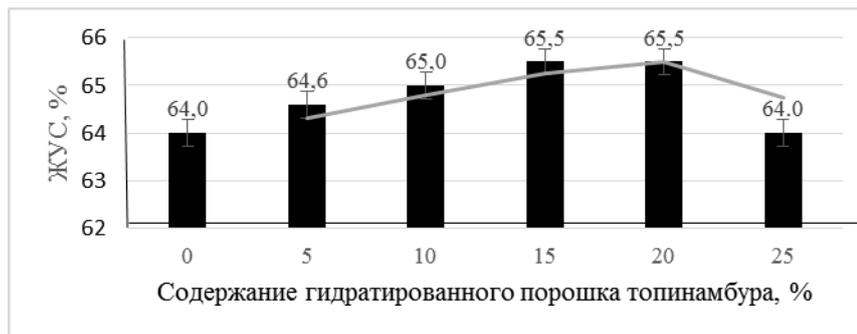


Рис. 4. Влияние дозировки гидратированного порошка топинамбура на ЖУС мясного фарша

Fig. 4. Effect of dosages of hydrated Jerusalem artichoke powder on protein and fat content in minced meat mixture

Однако в присутствии в системе ПАВ (в данном случае пектиновых веществ топинамбура), склонных к адсорбции на поверхности раздела фаз, наблюдается рост дисперсионной способности жиров и ориентация глобул жира на поверхности полисахарида. Это может быть, по-видимому, фактором, повышающим эмульгирующую и жиросодерживающую способность, предохраняющим полидисперсную систему от изменений при хранении [14].

Определенная при эксперименте зависимость дополнительно подтверждает [15] возможность использования гидратированного порошка топинамбура в установленных количествах в технологии комбинированных функциональных продуктов – замороженных мясных рубленых полуфабрикатов.

Одним из важных реологических показателей мясных систем является предельное напряжение сдвига (ПНС) [11]. Это напряжение, прилагаемое к объекту, при котором этот объект необратимо деформируется. ПНС более других чувствителен к технологическим и механическим факторам, компонентам рецептуры изделий. Этот показатель используют для оценки характеристик мясного фарша в ходе технологического процесса [13]. Результаты оценки в данном эксперименте влияния дозировки гидратированного порошка топинамбура на ПНС комбинированного фарша представлены на рис. 5.

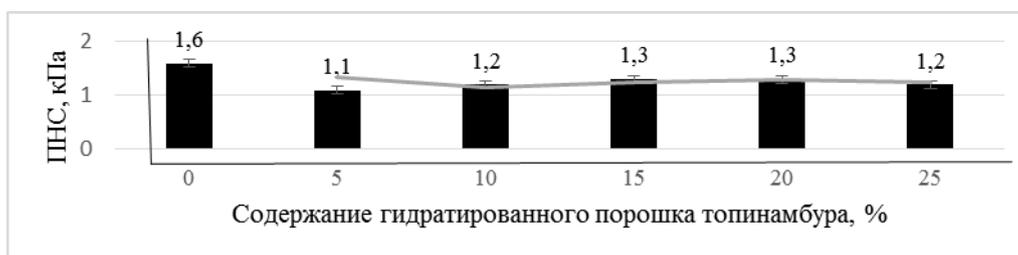


Рис. 5. Влияние дозировки гидратированного порошка топинамбура на предельное напряжение сдвига обогащенного мясного фарша

Fig. 5. Effect of dosage of hydrated Jerusalem artichoke powder on the ultimate shear stress of enriched minced meat mixture

При внесении гидратированного порошка топинамбура предельное напряжение сдвига сначала резко понижается (при дозировке 5 % с 1,57 до 1,11 кПа), а затем медленно возрастает, но остается ниже значения ПНС контрольного образца. Известно, что значение предельного напряжения сдвига мясного котлетного фарша должно составлять 1,1–1,2 кПа [11].

Такой уровень ПНС обеспечивается даже при дозе гидратированного порошка 25 %, но превышение дозировки выше 20 % нецелесообразно, так как уже при 25 % другие показатели комбинированного фарша оказываются сниженными.

При внесении в мясное сырье гидратированного порошка топинамбура снижается адгезия фаршевой смеси, что является положительным фактором в технологическом процессе производства мясных полуфабрикатов (рис. 6).



Рис. 6. Влияние дозировки гидратированного порошка топинамбура на адгезию мясного фарша

Fig. 6. Effect of dosage of hydrated Jerusalem artichoke powder on minced meat adhesion

Максимальное значение адгезии получено для контрольного образца фарша – 1984 мДж, с внесением гидратированного порошка топинамбура адгезия понижается. Для мясного фарша оптимальным значением адгезии считается 1000 мДж [11]. Такой уровень адгезии удерживается фаршем при содержании гидратированного порошка топинамбура от 10 до 20 %. Рубленые мясные полуфабрикаты (котлеты) с таким содержанием гидратированного порошка имеют консистенцию, соответствующую мясному продукту, хорошо формируются, плотные, стойкие при перемещении, с низкой адгезией. При 25 % гидратированного порошка топинамбура адгезия фарша ниже 900 мДж, плотность, устойчивость формы и структуры формируемых изделий падают.

Эффективная вязкость – итоговый показатель вязкости фарша, поэтому является основным. Повышение эффективной вязкости положительно влияет на сочность готового мясного продукта. Эффективная вязкость в мясных системах колеблется в широких пределах (от 3000 до 100 Па·с), оптимальным для мясных фаршей считается значение 1000–1100 Па·с [11].

При внесении в мясной фарш порошка топинамбура, гидратированного в соотношении 1:2, содержание воды в нем повышается незначительно, при этом порошок снижает вязкость фарша. Установленным для мясного фарша требованиям отвечает экспериментальный фарш при содержании в нем гидратированного порошка топинамбура до 20 % включительно (рис. 7).

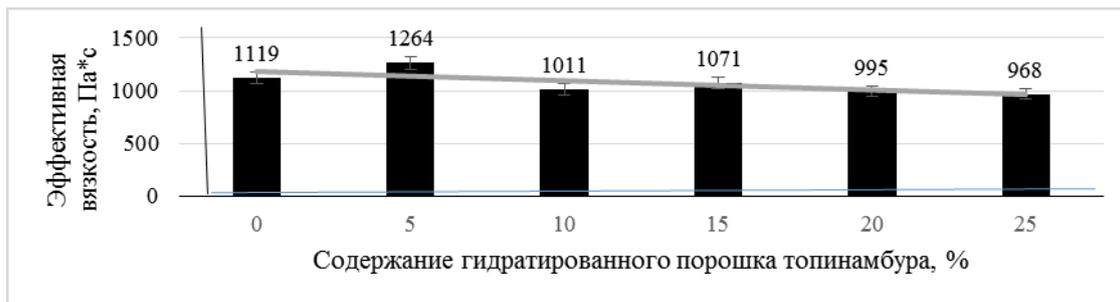


Рис. 7. Влияние дозировки гидратированного порошка топинамбура на эффективную вязкость мясного фарша
Fig. 7. The influence of the dosage of hydrated Jerusalem artichoke powder on the effective viscosity of minced meat

Таким образом, исследования показали, что при содержании в фарше 20 % гидратированного порошка топинамбура обеспечиваются требуемые уровни функционально-технологических и реологических показателей комбинированного продукта

Гидратированный порошок топинамбура, влияющий на функционально-технологические и реологические показатели фарша, отражается на органолептической характеристике готового продукта после термической обработки – на консистенции, цвете, вкусе, запахе. Наиболее важным для потребителя показателем является вкус продукта. Профилограмма вкуса мясных изделий с содержанием в фарше 20 % гидратированного порошка топинамбура, в сравнении с образцами, в которых гидратированный порошок топинамбура отсутствует, представлена на рис. 8.

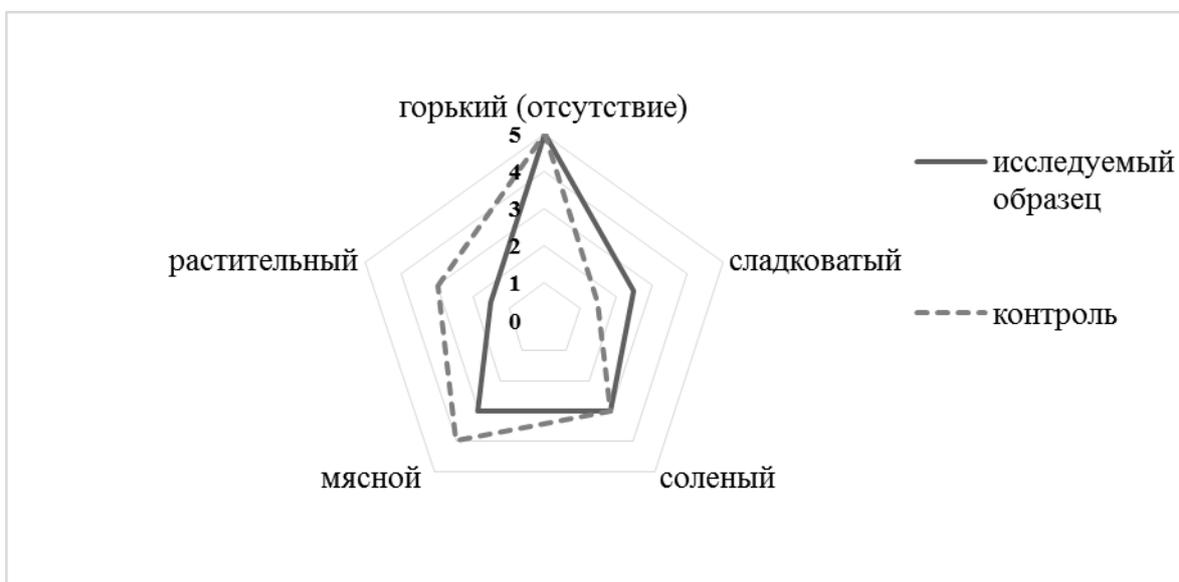


Рис. 8. Профилограмма вкуса мясных рубленых полуфабрикатов (котлет), обогащенных порошком топинамбура
Fig. 8. Flavour profilogram of minced meat semi – finished products enriched with Jerusalem artichoke powder

Как следует из данной профилограммы, исследуемый образец обладает достаточно выраженным мясным вкусом, в меру соленый, с небольшими сладковатым и растительным привкусами, не снижающими его потребительского восприятия. Горький привкус отсутствует. Результаты свидетельствуют, что разработанный функциональный продукт по органолептическому восприятию практически не отличается от традиционных мясных котлет.

При увеличении дозировки до 25 % цвет котлет приобретает коричневый оттенок, становится темным. После кулинарной обработки дегустаторы отмечают чрезмерные сладковатый привкус топинамбура и растительный запах.

Химический состав рубленых мясных полуфабрикатов, обогащенных порошком топинамбура, и контрольных представлен в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав контрольных и обогащенных порошком топинамбура рубленых мясных полуфабрикатов [15]
Table 2. Chemical composition of control and jerusalem artichoke powder-enriched minced meat semi-finished products [15]

Показатели	Содержание в полуфабрикатах, г/100 г	
	контрольных	с порошком топинамбура
Вода	53,60	59,62
Белки	15,80	12,50
Жиры	20,80	18,64
Минеральные вещества, в том числе хлорид натрия	1,40 0,80	1,76 0,80
Углеводы, в том числе инулин	8,40 –	7,48 3,57
Энергетическая ценность, ккал	284	239

В контрольные образцы котлет углеводы в основном вносятся с пшеничным хлебом, гликемический индекс которого 70–80 единиц [16], в опытные – с порошком топинамбура с гликемическим индексом 14–15 единиц [2]. В результате обеспечивается снижение в опытных образцах гликемической нагрузки (соответственно 6,40 и 1,05 в контрольных и опытных образцах).

Использование 20 % гидратированного порошка топинамбура позволяет получить функциональный мясной продукт, характеризующийся пониженной гликемической нагрузкой в сравнении с мясными котлетами традиционных рецептов и по органолептическому восприятию практически не отличающийся от традиционных мясных котлет. Обогащенный порошком топинамбура продукт является функциональным по содержанию пищевых волокон, в частности инулина («Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации» МР 2.3.1.0253-21).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований влияния порошка топинамбура на функционально-технологические свойства и реологические показатели мясного фарша установлена дозировка гидратированного порошка на уровне 20 %. Получающийся при такой дозировке фарш по показателям водоудерживающей, жирудерживающей способности, предельного напряжения сдвига, адгезии и эффективной вязкости соответствует требованиям к мясным фаршам для рубленых мясных полуфабрикатов. Использование гидратированного порошка топинамбура в количестве 20 % обеспечивает получение комбинированного продукта, характеризующегося пониженной гликемической нагрузкой в сравнении с мясными котлетами традиционных рецептов и по органолептическому восприятию практически не отличающегося от них. За счет использования порошка топинамбура продукт становится функциональным по содержанию пищевых волокон (инулина) и пригодным для питания людей, больных сахарным диабетом, или для потребления в целях профилактики данного заболевания

Список источников

1. Веселова А. Ю. Нетрадиционное сырье в производстве хлебных палочек для больных сахарным диабетом // Вестник НГИЭИ. 2013. № 8. С. 16–22.
2. Топинамбур при сахарном диабете 1 и 2 типа. URL: <https://www.kp.ru/family/eda/topinambur-pri-sakharnom-diabete/> (дата обращения: 24.01.24).
3. Ермош Л. Г. Использование муки топинамбура в технологии мясных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. Т. 250. № 8. С. 214–219.
4. Зарубин Н. Ю., Бредихина О. В. Перспективы использования муки из клубней топинамбура в технологии мясных продуктов // Мясные технологии. 2017. № 4 (172). С. 38–41.
5. Мельникова В. А. Обоснование низкотемпературной холодильной обработки топинамбура в технологии производства функционального заменителя кофе на его основе: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.04; 05.18.07. Калининград. 2017. 203 с.
6. Порошки из овощей // ООО «Агро Профиль Плюс». URL: <http://agro.ds43.ru/articles/1472827/> (дата обращения: 24.08.2022).
7. Keenan D. F., Resconi V. C., Kerry J. P., Hamill R. M. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physicochemical characteristics and eating quality using a mixture design approach // Meat Science. 2014. V. 96. N 3. P. 1384–1394.
8. Mensink M. A., Frijlink H. W., van der Voort Maarschalk K., Hinrichs W. L. J. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics // Carbohydrate Polymers. 2015. N 130. P. 405–419.
9. Пастушкова Е. В., Пономарев А. С. Структурно-механические и термодинамические свойства мясо-растительных пищевых систем // Междисциплинарное научное электронное сетевое периодическое издание (научный журнал)

«E-FORUM». 2021. Т. 5. № 4 (17). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47474343> (дата обращения: 5.06.23).

10. Жаринов А. И., Кузнецова О. В., Черкашина Н. А. Основы современных технологий переработки мяса: в 2 ч. Ч. 1. Эмульгированные и грубоизмельченные мясопродукты / под редакцией М. П. Воякина. Москва: ПТИ-центр, 1994. 254 с.

11. Косой В. Д., Виноградов Я. И., Малышев А. Д. Инженерная реология биотехнологических сред. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. 648 с.

12. Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С. Использование инулинсодержащего сырья в качестве добавки в мясные эмульгированные продукты для людей, страдающих сахарным диабетом // Вестник молодежной науки. 2019. № 4 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-inulinsoderzhashego-syrya-v-kachestve-dobavki-v-myasnye-emulgirovannye-produkty-dlya-lyudey-stradayuschih-saharnym-diabetes> (дата обращения: 6.06.23).

13. Исследование влияния муки топинамбура на реологические показатели мясных фаршей. URL: https://studref.com/547682/tovarovedenie/issledovanie_vliyaniya_muki_topinambura_na_reologicheskie_pokazateli_myasnyh_farshey (дата обращения: 27.02.23).

14. Гунченко А. Е. Реологические свойства мясных полуфабрикатов и способности их регулирования // X межд. студ. науч. конф. «Студенческий научный форум-2018»: материалы. 2018. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018002877> (дата обращения: 20.08.22).

15. Муравьева Н. А., Байдалинова Л. С. Изменение функционально-технологических свойств фарша рубленых мясных полуфабрикатов (котлет) при использовании порошка топинамбура // Материалы IX Международного Балтийского морского форума. Калининград, 04–09 окт. 2021. В 6 томах. Т. 4. «Пищевая и морская биотехнология». X юбил. межд. научно-практ. конф. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ». 2021. 1 электрон. опт. диск. 2021. С. 84–94.

16. Таблицы гликемического индекса пищевых продуктов URL: <https://yandex.ru/search/?from=chromesearch&clid=2242348&text=таблицы+гликемического+индекса+продуктов+питания&lr=22> (дата обращения: 24.01.24).

References

1. Veselova A. Yu. Netraditsionnoe syr'yo v proizvodstve khlebnnykh palochek dlya bol'nykh sakharnym diabetom [Non-traditional raw materials in the production of bread sticks for patients with diabetes mellitus]. *Vestnik NGIEI*, 2013, no. 8, available at: <http://vestnik.ngiei.ru/wp-content/uploads/2014/12/Веселова-А.-Ю.1.pdf> (Accessed 30 May 23).

2. Topinambur pri sakharnom diabete 1 i 2 tipa [Jerusalem artichoke for type 1 and type 2 diabetes mellitus]. 2024, available at: <https://www.kp.ru/family/eda/topinambur-pri-sakharnom-diabete> (Accessed 24 January 2024).

3. Ermosh L. G. Ispol'zovanie muki topinambura v tekhnologii myasnykh kulinarykh izdeliy povyshennoy pishchevoy tsennosti [The use of Jerusalem artichoke flour in the technology of meat culinary products of increased nutritional value]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 8, pp. 214–219.

4. Zarubin N. Yu., Bredikhina O. V. Perspektivy ispol'zovaniya muki iz klubney topinambura v tekhnologii myasnykh produktov [Prospects for the use of flour from Jerusalem artichoke tubers in the technology of meat products]. *Myasnye tekhnologii*, 2017, available at: <http://www.mgupp.ru/repo/downloadFile.php?id=0x80DA000C299AE95F11E93C294CFD9B9C> (Accessed 6 June 2023).
5. Mel'nikova V. A. *Obosnovanie nizkotemperaturnoy kholodil'noy obrabotki topinambura v tekhnologii proizvodstva funktsional'nogo zamenitelya kofe na ego osnove. Diss kand. tekhn. nauk* [Substantiation of low – temperature refrigeration processing of Jerusalem artichoke in the technology of production of a functional coffee substitute based on it. Dis. cand. tech. sci]. Kaliningrad, 2016, 203 p.
6. Poroshki iz ovoshchey [Vegetable powders]. *Agro Profile Plus LLC*, available at: <http://agro.ds43.ru/articles/1472827/> (Accessed 24 August 2022).
7. Keenan D. F. Resconi V. C., Kerry J. P., Hamill R. M. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach. *Meat Science*, 2014, vol. 96, no. 3, pp. 1384–1394.
8. Mensink M. A., Frijlink H. W., van der Voort Maarschalk K., Hinrichs W. L. J. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 2015, no. 130, pp. 405–419.
9. Pastushkova E. V., Ponomarev A. S. Strukturno-mekhanicheskie i termodinamicheskie svoystva myaso-rastitel'nykh pishchevykh sistem [Structural-mechanical and thermodynamic properties of meat and vegetable food systems]. *Mezhdistsiplinarnoe nauchnoe elektronnoe setevoe periodicheskoe izdanie (nauchnyy zhurnal) «E-FORUM»*, 2021, no. 4 (17), available at: <https://eforum-journal.ru/ru/vypuski-2021?id=335> (Accessed 10 June 2023).
10. Zharinov A. I., Kuznetsova O. V., Cherkashina N. A. *Osnovy sovremennykh tekhnologiy pererabotki myasa: v 2 ch. Ch. 1. Emul'girovannyye i gruboizmel'chennyye myasoprodukty* [Fundamentals of modern meat processing technologies: in 2 parts. Part 1. Emulsified and coarsely ground meat products]. Moscow, PTI-Center, 1994. 254 p.
11. Kosoy V. D., Vinogradov Ya. I., Malyshev A. D. *Inzhenernaya reologiya biotekhnologicheskikh sred* [Engineering rheology of biotechnological media]. Saint-Petersburg, GIOR, 2005. 648 p.
12. Muravyova N. A., Baydalina L. S. Ispol'zovanie inulinsoderzhashchego syr'ya v kachestve dobavki v myasnye emul'girovannyye produkty dlya lyudey, stradayushchikh sakharnym diabetom [The use of inulin-containing raw materials as an additive in emulsified meat products for people with diabetes mellitus]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2019, no. 4 (21), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-inulinsoderzhashchego-syr'ya-v-kachestve-dobavki-v-myasnye-emulgirovannyye-produkty-dlya-lyudey-stradayushchih-saharnym> (Accessed 10 June 2023).
13. Issledovanie vliyaniya muki topinambura na reologicheskie pokazateli myasnykh farshey [Investigation of the effect of jerusalem artichoke flour on the rheological parameters of minced meat]. Available at: https://studref.com/547682/tovarovedenie/issledovanie_vliyaniya_muki_topinambura_na_reologicheskie_pokazateli_myasnyh_farshey (Accessed 27 February 2023).

14. Gunchenko A. E. Reologicheskie svoystva myasnykh polufabrikatov i sposobnosti ikh regulirovaniya [Rheological properties of semi-finished meat products and the ability to regulate them]. *X mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferentsiya «Studencheskiy nauchnyy forum-2018»*. 2018. Available at: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018002877> (Accessed 20 August 2022).

15. Muravyova N. A., Baydalina L. S. Izmenenie funktsional'no-tekhnologicheskikh svoystv farsha rublenykh myasnykh polufabrikatov (kotlet) pri ispol'zovanii poroshka topinambura [Changes in the functional and technological properties of minced meat semi-finished products (cutlets) when using Jerusalem artichoke powder]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma. Kaliningrad, 04–09 okt. 2021. V 6 tomakh. T. 4. «Pishchevaya i morskaya biotekhnologiya». X yubil. mezhd. Nauchno-prakt. konf.* Kaliningrad, Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2021, 1 elektron. opt. disk, 2021, pp. 84 – 94.

16. Tablicy glikemicheskogo indeksa pishchevykh produktov [Tables of the glycemic index of food products]. 2024, available at: <https://yandex.ru/search/?from=chromesearch&clid=2242348&text=таблицы+гликемического+индекса+продуктов+питания&lr=22> (Accessed 24 January 2024).

Информация об авторах

Н. А. Муравьева – инженер-лаборант кафедры химии

Л. С. Байдалинова – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры пищевой биотехнологии

Г. Е. Степанцова – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

Information about the authors

N. A. Muravieva – Laboratory engineer of the Department of Chemistry

L. S. Baydalina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Food Biotechnology

G. E. Stepanцова – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 11.01.2024; одобрена после рецензирования 05.02.2024; принята к публикации 19.02.2024.

The article was submitted 11.01.2024; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for publication 19.02.2024.

Научная статья
УДК 637.07
DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-82-93

Нормативно-регуляторный подход к обеспечению безопасности нетрадиционного молочного сырья

Тимакова Роза Темерьяновна¹, Ильюхина Юлия Владимировна²

^{1,2} Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

¹ trt64@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4777-1465>

² janine86@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5581-3963>

Аннотация. В настоящее время сельскохозяйственные предприятия, специализирующиеся на производстве нетрадиционных видов молока, кроме коровьего, сталкиваются с вопросами отсутствия персонализированной информации по каждому виду молока в зависимости от вида сельскохозяйственных животных в технических регламентах. Исследование нормативной базы, регулирующей вопросы безопасности пищевой продукции, в частности, молока, показывает наличие расхождений в технических регламентах и стандартах, что определило целью исследования количественную оценку показателей безопасности, в частности, микробиологических, и показателей идентификации сырого кобыльего молока, приближенного по своему составу к женскому молоку, обладающего высокими иммуномодулирующими свойствами и относящегося к молочному сырью для производства продуктов лечебно-профилактического назначения и использования в качестве нутриентной поддержки согласно установленному протоколу. Необходимость технического регулирования сырого кобыльего молока как отдельного вида молочного сырья обусловлена отличительными от традиционного коровьего молока идентификационными признаками и возможностями выхода на потребительский рынок производителей кобыльего молока, что требует обеспечения безопасности сырья и продуктов его переработки. Важным моментом является недопущение видовой фальсификации более дешевым коровьим молоком. Установлено, что ТР ТС 021/2011 распространяет свое действие на молоко без выделения его видов. Ряд показателей идентичны в ТР ТС 033/2013 и ГОСТ Р 52973-2008. Наряду с этим, в ТР ТС 033/2013 регламентированное максимальное количество соматических клеток в 3,75 раз больше, чем в ГОСТ Р 52973-2008. В стандарте показатель кислотности дифференцирован, исходя из последующего использования: для детского и лечебного питания – 5 °Т, для производства кумыса и сухого молока – 6°Т, что технологически более целесообразно. Необходима актуализация действующей нормативной базы.

Ключевые слова: сырое кобылье молоко, безопасность, фальсификация, идентификация, нормативное регулирование, технические регламенты, стандарты.

Для цитирования: Тимакова Р. Т., Ильюхина Ю. В. Нормативно-регуляторный подход к обеспечению безопасности нетрадиционного молочного сырья // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 82-93. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-82-93.

Original article

Regulatory approach to ensuring the safety of non-traditional dairy raw materials

Roza T. Timakova¹, Yuliya V. Il'yukhina²

^{1,2} Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

¹ trt64@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4777-1465>

² janine86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5581-3963>

Abstract. Currently, agricultural enterprises specializing in the production of non-traditional types of milk, except cow's milk, face the lack of personalized information on each type of milk, depending on the type of agricultural animals in the technical regulations. The study of the regulatory framework governing the safety of food products (in particular milk) shows the presence of discrepancies in technical regulations and standards, which determined the purpose of the study to quantify safety indicators, in particular microbiological, and identification indicators of raw mare's milk, close in composition to female milk, having high immunomodulatory properties and related to dairy raw materials for the production of healthy food products of therapeutic and preventive direction from it and for the use as nutritional support according to the established protocol. The need for technical regulation of raw mare's milk as a separate type of dairy raw materials is due to the distinctive identification features of mare's milk from traditional cow's milk and the possibility of entering the consumer market of producers of mare's milk, which requires ensuring the safety of raw materials and products of its processing. An important point is not to allow species falsification by the more common cheap cow's milk. It has been established that TR CU 021/2011 extends its effect to milk without isolation of milk types. A number of indicators are identical in TR CU 033/2013 and in GOST R 52973-2008. Along with this, in TR CU 033/2013, the regulated maximum threshold number of somatic cells is 3.75 times greater than in GOST R 52973-2008. In the standard, the acidity index is differentiated based on subsequent use: for children's and therapeutic nutrition – 5 ° T and for the production of koumiss and milk powder – 6 ° T, which is technologically more appropriate. It is necessary to update the current regulatory framework.

Keywords: raw mare's milk, safety, falsification, identification, regulatory regulation, technical regulations, standards.

For citation: Timakova R. T., Il'yukhina Yu. V. Regulatory approach to ensuring the safety of non-traditional dairy raw materials. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (73): 82-93. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-82-93.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия необходимо обеспечение наличия на российском рынке высококачественной и конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции отечественного производства. При этом приоритетным направлением наряду с производством молока является переработка сырого молока. Логистика и прослеживаемость товарных потоков молочного сырья и продуктов переработки молока в настоящее время обеспечиваются ФГИС «Меркурий» и системой «Честный знак».

Молоко и молочные продукты традиционно занимают важное место в рационе большинства россиян – до 22 % всех пищевых позиций первой необходимости – и относятся к социально значимым продуктам питания, отмечают [1, 2]. В последние годы активно развивается молочная промышленность, производители разрабатывают и внедряют молочные продукты по новым технологиям и рецептурам – как обогащенные, так и функционального назначения, что требует актуализации существующей нормативной базы.

Вопросы улучшения качества сырого молока и его соответствия комплексу показателей, регламентируемых нормативно-правовыми документами, играют большую роль в повышении конкурентоспособности молочной продукции отечественных производителей на мировом рынке [3]. Государственное техническое регулирование в нашей стране осуществляется на законодательном уровне и на основании государственного контроля и надзора [4]. Внедрение организационно-экономического механизма регулирования молочно-продуктового подкомплекса обеспечивается нормативно-правовой базой, по данным [5].

В РФ статистические данные по производству молока формируются по количеству традиционного сырья – сырого коровьего молока, без учета нетрадиционных видов молока.

В этих условиях нормативная база (технические регламенты, стандарты) требует регулярной актуализации с учетом изучения действующих на предприятиях технических условий и технологических инструкций на новые виды молочной продукции. Серьезной проблемой является неумышленная фальсификация молочной продукции, что может быть обусловлено несовершенством терминологии, не учитывающей происхождение сырья, и технологическими особенностями [6]. На потребительском рынке распространен кумыс из коровьего молока, который не всегда именуется как кумысный продукт, тем самым вводя потребителей в ассоциативное заблуждение.

Введение на территории РФ ФГИС «Меркурий» позволяет Федеральной службе по ветеринарному и фитосанитарному надзору выявлять в режиме реального времени факты фальсификации молочной продукции, обнаруживая в ней жиры немолочного происхождения, и предприятия-фантомы, которые осуществляют ввод в нелегальный оборот молока без указания сведений о сырье и молочной продукции неизвестного происхождения [7]. В 2020 г. было произведено молочной продукции на 8,5 млн т больше, чем имелось сырья, что показывает примерный уровень фальсификации [1].

В соответствии с определением фальсифицированной пищевой продукции по МУ 4.1/4.2.2484-09 можно выделить два направления фальсификации: умышленное изменение свойств и качества и предоставление заведомо неполной или недостоверной информации по скрытым свойствам и качеству [8]. Исходя из этого четко прослеживается необходимость соответствия органолептических и физико-химических показателей, т. е. идентификации молока разных видов животных согласно требованиям ТР ТС 033/2013. В настоящее время одним из основных количественных признаков для молочной продукции, воспринимаемым потребителем, является содержание общего жира, несмотря на то, что на потребительской упаковке представлен состав основных нутриентов (белков, жиров, углеводов), изменение которых приводит в дальнейшем к ассортиментной и качественной фальсификации.

Информация по фальсификации контролируемых структур, имеющаяся в открытом доступе, неполная, частично противоречивая и неконсолидированная в общероссийском масштабе.

По результатам исследований разных авторов, в России доля фальсификата молока и молочной продукции в 2020 г. составила: 6 % (Роспотребнадзор), 1 % (Роскачество), 17 % (Россельхознадзор), 30–70 % (альтернативные источники) [1]; в 2021 г. – 21,6 % (Россельхознадзор); в 2022 г. без указания количества выявленных нарушений, по данным Роскачества, отмечаются несоблюдения по показателю СОМО [9].

Требования к безопасности пищевой продукции закреплены в действующих технических регламентах согласно Федеральному закону о техническом регулировании № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 г. Кобылье молоко и продукты его переработки должны соответствовать требованиям технических регламентов ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и соответствующих стандартов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель исследования заключалась в оценке нормативно-технической документации (НТД), обеспечивающей идентификацию объекта технического регулирования (сырое кобылье молоко, относящееся к нетрадиционному молочному сырью) и устанавливающей требования безопасности к данному объекту.

Объекты и методы исследования. Проведена экспертиза нормативно-технической документации ТР ТС 021/2011, ТР ТС 033/2013 и ГОСТ Р 52973-2008 в части возможного применения для оценки показателей безопасности и идентификации нетрадиционного молочного сырья, в частности сырого кобыльего молока, научными методами описания, анализа, сравнения и обобщения результатов исследования.

Известно, что здоровое питание отличается сбалансированностью, соответствующей физиологическим потребностям человека в макро- и микронутриентах и его энергозатратам. Согласно методическим рекомендациям «МР 2.3.7.0168-20. Оценка качества пищевой продукции и оценка доступа населения к отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов. Методические рекомендации» молоко и молочная продукция

относятся к основным источникам белка, жира, витаминов В₂ и В₁₂, кальция и фосфора.

Выбор кобыльего молока определяется тем, что оно является уникальным нативным биопродуктом, сопоставимым с женском молоком, в котором содержится меньше жира и больше лактозы по сравнению с коровьим молоком.

Полезность кобыльего, так называемого альбуминового молока, определяется соотношением казеина (менее 50 %) и сывороточных белков, что жизненно необходимо для людей с непереносимостью казеина [10,11].

Использование мембранных технологий позволяет осуществлять глубокую переработку сырого кобыльего молока без нарушения его структуры, получать ингредиенты, обладающие уникальными функциональными и питательными свойствами, которые можно использовать при разработке специализированных продуктов, благоприятно влияющих на здоровье человека и улучшающих качество жизни [12].

Кобылье молоко отличается высокими противовирусными и иммуномодулирующими свойствами, что определяет его ценность для повышения иммунитета, в качестве лечебно-профилактического питания, в нутриентной поддержке онкологических больных [13–19].

Производство кобыльего молока и его переработка осуществляются на малых предприятиях, начинающих на первом этапе с племенного дела. Производители кобыльего молока и продуктов переработки из него (кумыс, сухое молоко, йогурт и др.) сталкиваются с отсутствием нормативной документации, регламентирующей единые требования безопасности и качества кобыльего молока, что может привести к фальсификации кобыльего молока путем частичной подмены наиболее распространенным и дешевым коровьим молоком. Возможно использование недобросовестными переработчиками коровьего молока, не соответствующего требованиям ТР ТС 033/2013 по содержанию жира и белка (менее 2,8 %), так как в кобыльем молоке жира и белка меньше. В этом случае при употреблении фальсифицированного молока не будет получен терапевтический эффект для людей с непереносимостью лактозы, а также лечебно-профилактический эффект иммунологического характера, возможно ухудшение здоровья людей с непереносимостью казеина.

Важность решения проблемы фальсификации молочной продукции определяется в контексте безопасности для человека. В сентябре 2019 г. Координационный комитет ФАО/ВОЗ по Европе рассматривал тему «Фальсификации пищевой продукции: устранение рисков, предотвращение и противодействие» [20].

Сырое молоко, предназначенное для переработки, подлежит ветеринарно-санитарной экспертизе с определенной периодичностью (приказ № 421 от 28 июня 2021 г. «Об утверждении ветеринарных правил...») для установления его соответствия требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013.

Согласно п. 4.1. ГОСТ Р 1.0-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения» одним из основных принципов стандартизации в РФ является «... недопустимость установления в стандартах требований, противоречащих регламентам...».

Была осуществлена комплексная экспертиза количественных параметров регламентируемых показателей безопасности и идентификации молока по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 033/2013 и ГОСТ Р 52973-2008.

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» распространяет свое действие, в частности, на молоко и молочную продукцию без выделения вида молока и молочной продукции, в приложении 2 не регламентированы микробиологические нормативы безопасности, кроме упомянутых патогенных микроорганизмов в приложении № 1, безопасность пищевой продукции (ст. 4) определяется «...отсутствием недопустимого риска, связанного с вредным воздействием на человека...».

ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» устанавливает регулирующий статус всех технических регламентов Таможенного союза, действие которых распространяется на молоко и молочную продукцию.

ГОСТ Р 52973-2008 «Молоко кобылье сырое. Технические условия» (дата актуализации описания – 01.01.2023) определяет нормативные требования к этому виду молока.

В табл. 1 представлены результаты сравнительной оценки показателей безопасности и идентификации сырого кобыльего молока по существующей нормативной базе.

Таблица 1. Сравнительная характеристика показателей безопасности и идентификации сырого молока

Table 1. Comparative characteristics of raw milk safety and identification indicators

№ п/п	Показатель	Приказ № 421 от 28 июня 2021 г. о ветеринарно-санитарной экспертизе, периодичность	ТР ТС 033/2013		ГОСТ Р 52973-2008
			Коровье молоко	Кобылье молоко	
1	Область применения	молоко и молочные продукты	молоко и молочная продукция		кобылье сырое молоко, предназначенное для дальнейшей переработки, в том числе для детского и лечебного питания
Показатели безопасности					
2	Количество соматических клеток в 1 см ³ , не более	не реже 1 раза в месяц	7,5 · 10 ⁵		2,0 · 10 ⁵
3	КМАФАнМ, КОЕ/см ³ , не более	не реже 1 раза в 6 месяцев	5,0 · 10 ⁵		5,0 · 10 ⁵

4	Масса продукта, г, в которой не допускаются: – БГКП – патогенные, в том числе сальмонеллы	не установлено не реже 1 раза в 6 месяцев	25 –	не регламентируется не регламентируется	
Показатели идентификации					
5	Массовая доля жира, %, не менее	не реже 1 раза в месяц	2,8	1,0	1,0
6	Массовая доля белка, %, не менее		2,8	2,1	2,0
7	Массовая доля СОМО, %, не менее		8,2	10,7	8,5–10,7
8	Плотность при температуре 20 °С (кг/м ³), не менее		1027	1032	1032
9	Кислотность, °Т, не более		16–21	6,5	5 – для детского и лечебного питания; 6 – для производства кумыса и сухого молока

На основании результатов исследований было установлено, что в ТР ТС 033/2013 показатели безопасности сырого молока не персонифицированы исходя из вида сельскохозяйственных животных, наряду с этим представлены характерные показатели идентификации разных видов молока по содержанию жира, белка и СОМО, а также плотности и кислотности.

Сравнительная оценка показателей позволила установить, что значение показателя «количество соматических клеток в 1 см³» сырого кобыльего молока, согласно требованиям ГОСТ Р 52973-2008, в 3,75 раза ниже, чем в ТР ТС 033/2013. Данный показатель очень важен, так как молочное сырье для производства кумыса не подвергается пастеризации. Увеличение количества соматических клеток, представленных лейкоцитами, эритроцитами и клетками эпителия молочной железы, может быть и признаком заболевания животных, нарушения содержания животных и условий кормления и доения.

Исследование показателей идентификации сырого кобыльего молока по ТР ТС 033/2013 и ГОСТ Р 52973-2008 выявило, что по содержанию жира и плотности молока количественные данные идентичны. По массовой доле белка требования выше на 0,1 % в ТР ТС 033/2013 по сравнению с требованиями стандарта.

Массовая доля СОМО по требованиям стандарта находится в интервальном промежутке 8,5 % – 10,7 %, в техническом регламенте – по верхнему пределу, не менее 10,7 %. Кислотность в техническом регламенте имеет количественное ограничение – не более 6,5 %; в стандарте показатель кислотности более низкий и индивидуализирован для выработки продукции детского и лечебного питания – 5 °Т, для производства кумыса и сухого молока – 6°Т.

Содержание лактозы и цвет кобыльего молока являются важным идентификационным признаком молока, однако такая информация отсутствует в техническом регламенте. В ТР ТС 033/2013 информация по цвету представлена только по сырому коровьему молоку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, несмотря на то, что основополагающими являются требования технических регламентов, ряд показателей имеют более низкие значения в ГОСТ Р 52973-2008 (количество соматических клеток и кислотность). Полученные результаты исследования нормативной документации позволяют сделать вывод о необходимости тождественности показателей и их количественных характеристик в технических регламентах и стандартах для недопущения разночтений. Важность нормативного регулирования определяется тем, что сопоставимое соответствие разноуровневых нормативных документов позволит установить единообразные требования к показателям безопасности и идентификации нетрадиционных видов молока, в частности для сырого кобыльего молока, что обуславливает необходимость рационального подхода к внесению изменений или дополнений в технические регламенты на основе всесторонних исследований объектов технического регулирования в аккредитованных лабораториях. Исходя из полученных результатов проведенного исследования, предлагается актуализировать показатели безопасности в ГОСТ Р 52973-2008 согласно требованиям ТР ТС 033/2013, в т. ч. по количеству соматических клеток в 1 см³. Наряду с этим предлагается внести изменения в действующий ТР ТС 033/2013 по содержанию массовой доли белка и СОМО и дифференциации кислотности, что требует дальнейшего проведения экспериментальных исследований.

Список источников

1. Жилинкова К. Б. Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли // Экономика. Информатика. 2021. № 48 (4). С. 697–706. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706.
2. Современное состояние и условия устойчивого развития сферы молочного скотоводства в России / А. В. Котарев, А. О. Котарева, И. Н. Василенко, Д. В. Шайкин // Аграрный вестник Урала. Спецвыпуск «Экономика». 2022. № 13. С. 31–41. DOI 10.32417/1997-4868-2022-228-13-31-41.
3. Симоненкова А. П., Яркина М. В. Применение современных методов электропунктурной диагностики при оценке технологического потенциала молока-сырья для производства творога // Продукты питания. Новые технологии:

сборник научных статей / под редакцией А. П. Симоненковой. Орел: Изд-во ОГУ имени И. С. Тургенева. 2022. С. 166–188.

4. Макеева И. А. Создание методологии совершенствования нормативной базы молочной отрасли (ретроспектива, реальность, перспективы) // Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонов в наукоемких технологиях переработки молока / под ред. А.Г. Галстяна. Москва. 2021. С. 172–186.

5. Бессонова Е. В., Утенкова Т. И. Совершенствование организационно-экономического механизма государственного регулирования молочнопродуктового подкомплекса Сибири // АПК: экономика, управление. 2022. № 8. С. 53–59. DOI 10.33305/228-53.

6. Лютых О. Нормативная база молочной промышленности – залог успешного развития отрасли // Пищевая индустрия. 2021. № 1 (45). С. 52–54.

7. Россельхознадзор. URL: <http://www.fsvps.gov.ru/news/rosselkhoznadzor-vyjavil-fakty-falsifikacii-molochnoj-produkcii-pjatju-rossijskimi-kompanijami> (дата обращения: 09.01.2024).

8. Оценка подлинности и выявление фальсификации молочной продукции: методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 30 с.

9. Андреев А. В., Фирсова А. П., Соломинова А. Р. Фальсификация качества молока и молочной продукции как ключевая угроза продовольственной безопасности страны // Агропродовольственная экономика. 2022. № 5. С. 32–42. DOI 10.54092/24122521_2022_5_32.

10. Short Communication: Jenny milk as an inhibitor of late blowing in cheese: A preliminary report / С. Cosentino, R. Paolino, P. Freshi, A. M. Calluso // J. Dairy Sci. 2013. V. 6, N 96. P. 3547-3550. DOI 10.3168/jds.2012-6225.

11. Role of proteins and of some bioactive peptides on the nutritional quality of donkey milk and their impact on human health / S. Vincenzetti, S. Pucciarelli, V. Polzonetti, P. Polidori // Beverages. 2017. V. 3, N 3. P. 2–20. DOI 10.3390/beverages3030034.

12. Семенова Е. С., Симоненко С. В., Симоненко Е. С. Фракционированные сывороточные белки кобыльего молока – новое направление в специализированных продуктах питания // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация в сфере АПК: I Всеросс. (нац.) научно-практ. конф. (28 апр.): материалы. Саратов: Саратовский гос. агр. ун-т им Н. И. Вавилова, 2023. С. 480–486.

13. Mare's milk: therapeutic and dietary properties / B. Bimbetov, A. Zhangabylov, S. Aitbaeva, V. Benberin, H. Zollmann, A. Musaev, M. Rakhimzhanova, G. Esnazarova, A. Bakytzhanuly, N. Malaeva // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2019. № 9 (207). С. 73–78.

14. Симоненко Е. С., Симоненко С. В., Хованова Ю. С. Перспективы использования кобыльего молока для создания продуктов диетического лечебного и диетического профилактического питания // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 12–1 (114). С. 157–161. DOI 10.23670/IRJ.2021.114.12.026.

15. Тимакова Р. Т., Ильюхина Ю. В., Старцев В. Г. Сублимационная сушка кобыльего молока // Молочная промышленность. 2022. № 12. С. 42–44. DOI 10.31515/1019-8946-2022-12-42-44.
16. Реабилитация пациентов, перенесших COVID-19, альвеолитом и пневмонией: уч. пособие / Т. Е. Чернышова, О. В. Малинин, Н. Ю. Кононова, С. В. Эшмаков, Т. В. Савельева. Ижевск: ИГМА, 2022. 40 с.
17. Использование нутритивной поддержки при химиотерапии рака молочной железы для улучшения качества жизни / Р. К. Кумисбекова, Н. А. Шаназаров, Б. Р. Бимбетов, Е. И. Жаппаров // Вопросы онкологии. 2023. Т. 69. № 35. С. 373–374.
18. Способ нутриентной поддержки при химиотерапии рака молочной железы: пат. 2791802 Рос. Федерация. № 2022119778 / Зинченко С. В., Бенберин В. В., Бимбетов Б. Р., Шаназаров Н. А., Кумисбекова Р. К., Жаппаров Е. И., Туржанова Д. Е. заявл. 19.07.2022; опубл. 13.03.2023. Бюл. № 8. 9 с.
19. Shariatikia M., Behbahani M., Mohabatkar H. Anticancer activity of cow, sheep, goat, mare, donkey and camel milks and their caseins and whey proteins and in silico comparison of the caseins // Molecular biology research communications. 2017. V. 6. P. 57–64. DOI 10.22099/mbrc.2017.4042.
20. Проблема фальсификации видовой принадлежности молока / Х. Х. Гильманов, Р. Р. Вафин, В. Г. Блядзе, И. Ю. Михайлова // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1 (1). С. 125–129. DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-125-129.

References

1. Zhilinkova K. B. Problemy fal'sifikatsii molochnoy produktsii i ikh vliyaniye na rynek moloka i sostoyaniye molochnoy otrasli [Issues of falsification of dairy products and their impact on the milk market and the state of the dairy industry]. *Ekonomika. Informatika*, 2021, no. 48 (4), pp. 697–706. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706.
2. Kotarev A. V., Kotareva A. O., Vasilenko I. N., Shaykin D. V. Sovremennoye sostoyaniye i usloviya ustoychivogo razvitiya sfery molochnogo skotovodstva v Rossii [The current state and conditions of sustainable development of dairy cattle breeding in Russia]. *Agrarnyy vestnik Urala. Spetsvyпуск "Ekonomika"*, 2022, no. 13, pp. 31–41. DOI 10.32417/1997-4868-2022-228-13-31-41.
3. Simonenkova A. P., Yarkina M. V. Primeneniye sovremennykh metodov elektropunktturnoy diagnostiki pri otsenke tekhnologicheskogo potentsiala moloka-syrya dlya proizvodstva tvoroga [The use of modern methods of electropuncture diagnostics in assessing the technological potential of raw milk for the production of cottage cheese]. *Produkty pitaniya. Novye tekhnologii: sbornik nauchnykh statey* [Food products. New technologies: collection of scientific articles]. Oryol, Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I. S. Turgeneva, 2022, pp. 166–188.
4. Makeeva I. A. Sozdaniye metodologii sovershenstvovaniya normativnoy bazy molochnoy otrasli (retrospektiva, real'nost', perspektivy) [Creation of a methodology for improving the regulatory framework of the dairy industry (retrospective, reality, prospects)]. *Idei akademika Vladimira Dmitrievicha Kharitonova v naukoemkikh*

tehnologiyakh pererabotki moloka [Ideas of Academician Vladimir Dmitrievich Kharitonov in high-tech technologies of milk processing]. Moscow, 2021, pp. 172–186.

5. Bessonova E. V., Utenkova T. I. Sovershenstvovanie organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma gosudarstvennogo regulirovaniya molochnoproduktovogo podkompleksa Sibiri [Improvement of the organizational and economic mechanism of state regulation of the dairy subcomplex of Siberia]. *APK: ekonomika, upravlenie*, 2022, no. 8, pp. 53–59. DOI 10.33305/228-53.

6. Lyutykh O. Normativnaya baza molochnoy promyshlennosti – zalog uspehnogo razvitiya otrasli [The regulatory framework of the dairy industry is the key to the successful development of the industry]. *Pishchevaya industriya*, 2021, no. 1 (45), pp. 52–54.

7. Rossel'khoznadzor. Available at: <http://www.fsvps.gov.ru/news/rosselkhoznadzor-vyjavil-fakty-falsifikatsii-molochnoj-produkcii-pjatju-rossijskimi-kompanijami> (Accessed 9 January 2024).

8. Otsenka podlinnosti i vyyavlenie fal'sifikatsii molochnoy produktsii [Assessment of authenticity and detection of falsification of dairy products]. *Metodicheskie ukazaniya*. Moscow, Federal'nyy tsentr gigeny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009, 30 p.

9. Andreev A. V., Firsova A. P., Solominova A. R. Fal'sifikatsiya kachestva moloka i molochnoy produktsii kak klyuchevaya ugroza prodovol'stvennoy bezopasnosti strany [Falsification of the quality of milk and dairy products as a key threat to the country's food security]. *Agroprodovol'stvennaya ekonomika*. 2022, no. 5, pp. 32–42. DOI 10.54092/24122521_2022_5_32.

10. Cosentino C., Paolino R., Freshi P., Calluso A. M. Short Communication: Jenny milk as an inhibitor of late blowing in cheese: A preliminary report. *J. Dairy Sci.* 2013, vol. 6, no. 96, pp. 3547–3550. DOI 10.3168/jds.2012-6225.

11. Vincenzetti S., Pucciarelli S., Polzonetti V., Polidori P. Role of proteins and of some bioactive peptides on the nutritional quality of donkey milk and their impact on human health. *Beverages*. 2017, vol. 3, no. 3, pp. 2–20. DOI 10.3390/beverages3030034.

12. Semenova E. S., Simonenko S. V., Simonenko E. S. Fraktsionirovannyye syvorotochnyye belki kobylyego moloka – novoe napravlenie v spetsializirovannykh produktakh pitaniya [Fractionated whey proteins of mare's milk – a new direction in specialized food products]. *Materialy I Vseross. (nats.) nauchno-prakt. konf. "Innovatsionnyye tekhnologii v nauke: upravlenie kachestvom, metrologicheskoe obespechenie, novyye podkhody i tsifrovizatsiya v sfere APK"* [Materials I All-Russian (national) Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in science: quality management, metrological support, new approaches and digitalization in the field of agriculture"]. Saratov, 2023, pp. 480–486.

13. Bimbetov B., Zhangabylov A., Aitbaeva S., Benberin V., Zollmann H., Musaev A., Rakhimzhanova M., Esnazarova G., Bakytzhanuly A., Malaeva N. Mare's milk: therapeutic and dietary properties. *Vestnik Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan*. 2019, no. 9 (207), pp. 73–78.

14. Simonenko E. S., Simonenko S. V., Khovanova Yu. S. Perspektivy ispol'zovaniya kobylyego moloka dlya sozdaniya produktov dieticheskogo lechebnogo i dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya [Prospects of using mare's milk to create products of dietary therapeutic and dietary preventive nutrition]. *Mezhdunarodnyy*

nauchno-issledovatel'skiy zhurnal, 2021, no. 12–1 (114), pp. 157–161. DOI 10.23670/IRJ.2021.114.12.026.

15. Timakova R. T., Il'yukhina Yu. V., Startsev V. G. Sublimatsionnaya sushka kobylyego moloka [Freeze drying of mare's milk]. *Molochnaya promyshlennost'*, 2022, no. 12, pp. 42–44. DOI 10.31515/1019-8946-2022-12-42-44.

16. Chernyshova T. E., Malinin O. V., Kononova N. Yu., Eshmakov S. V., Savel'eva T. V. *Reabilitatsiya patsientov, perenesshikh COVID-19, al'veolitom i pnevmoniey: uch. posobie* [Rehabilitation of patients with COVID-19, alveolitis and pneumonia: textbook]. Izhevsk, IGMA Publ., 2022, 40 p.

17. Kumisbekova R. K., Shanazarov N. A., Bimbetov B. R., Zhapparov E. I. Ispol'zovanie nutritivnoy podderzhki pri khimioterapii raka molochnoy zhelezy dlya uluchsheniya kachestva zhizni [The use of nutritional support in breast cancer chemotherapy to improve the quality of life]. *Voprosy onkologii*, 2023, vol. 69, no. 35, pp. 373–374.

18. Zinchenko S. V., Benberin V. V., Bimbetov B. R., Shanazarov N. A., Kumisbekova R. K., Zhapparov E. I., Turzhanova D. E. Sposob nutrientnoy podderzhki pri khimioterapii raka molochnoy zhelezy [Method of nutritional support in breast cancer chemotherapy]. Patent RF, no. 2022119778, 2023.

19. Shariatikia M., Behbahani M., Mohabatkar H. Anticancer activity of cow, sheep, goat, mare, donkey and camel milks and their caseins and whey proteins and in silico comparison of the caseins. *Molecular biology research communications*. 2017, vol. 6, pp. 57–64. DOI 10.22099/mbrc.2017.4042.

20. Gil'manov H. H., Vafin R. R., Bliadze V. G., Mikhaylova I. Yu. Problema fal'sifikatsii vidovoy prinadlezhnosti moloka [The problem of falsification of milk species]. *Aktual'nye voprosy molochnoy promyshlennosti, mezhotraslevye tekhnologii i sistemy upravleniya kachestvom*, 2020, vol. 1, no. 1 (1), pp. 125–129. DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-125-129.

Информация об авторах

Р. Т. Тимакова – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевой инженерии

Ю. В. Ильюхина – аспирант кафедры технологий питания

Information about the authors

R. T. Timakova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Food Engineering

Yu. V. Il'yukhina – postgraduate student of the Department of Food Technology

Статья поступила в редакцию 25.10.2023; одобрена после рецензирования 20.01.2024; принята к публикации 16.02.2024.

The article was submitted 25.10.2023; approved after reviewing 20.01.2024; accepted for publication 16.02.2024.

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья

УДК 629.562

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-97-110

Целесообразность создания крупнотоннажных судов промыслового флота для ведения экспедиционного промысла в Атлантическом океане

Виктор Андреевич Белоусов¹, Дмитрий Николаевич Дмитриев², Евгений Андреевич Чуреев³, Сергей Васильевич Дятченко⁴

^{1, 2, 3, 4} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ viktor.belousov@klgtu.ru

² d1m.dm1trieff@yandex.ru

³ e.chureev@klgtu.ru

⁴ svd.ks@mail.ru

Аннотация. В настоящее время широко известными считаются две основные формы ведения промысла – автономная и экспедиционная. Экспедиционная форма ведения промысла была популярна во времена Советского Союза. Однако, учитывая экономические изменения после распада СССР, от экспедиционной формы промысла решили отказаться, т. к. большая часть промысловых судов перешла в коммерческие организации, а плавучие рыбоперерабатывающие базы сильно устарели и были списаны. Эксплуатируемые сегодня большие морозильные рыболовные траулеры (далее БМРТ), построенные во времена СССР, продолжают вести автономный промысел в отдаленных районах Атлантического океана и самостоятельно доставляют готовую продукцию на берег. В настоящей работе рассматривается целесообразность возвращения к экспедиционной форме ведения промысла, при которой добыча и переработка рыбы выполняются судами типа БМРТ, а доставка готовой продукции на берег осуществляется транспортными рефрижераторами (далее ТР). Для определения целесообразности использования ТР необходимо оценить экономические показатели БМРТ при автономной форме промысла, а также рассмотреть экономические показатели от совместной эксплуатации БМРТ и ТР. В качестве промысловых рассматриваются Северный, Центральный и Юго-восточный районы Атлантического океана. Расчетными портами приписки определены Мурманск и Калининград, т. к. иностранные порты закрыты вследствие санкций. В статье рассматривается расчет экономических показателей ведения автономного промысла БМРТ типа «Пулковский меридиан», а также ведения экспедиционного промысла несколькими БМРТ с передачей готовой продукции на ТР типа «50 лет СССР». Экономический расчет выполняется по основным показателям доходов и расходов обоих судов за один рейс и за эксплуатационный период. По результатам анализа выполненных расчетов производится постановка задачи на проектирование судов для обеспечения лучших экономических показателей рыбного промысла в Атлантическом океане.

Ключевые слова: автономная форма промысла, рыболовный флот, рыболовство, Атлантический океан, транспортный рефрижератор, большой морозильный рыболовный траулер, экономический блок, «Пулковский меридиан», «50 лет СССР».

Для цитирования: Белоусов В. А., Дмитриев Д. Н., Чуреев Е. А., Дятченко С. В. Целесообразность создания крупнотоннажных судов промыслового флота для ведения экспедиционного промысла в Атлантическом океане // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 97-110. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-97-110.

Original article

Feasibility of creating large-tonnage vessels of the fishing fleet for distant-water fishery in the Atlantic Ocean

Viktor A. Belousov¹, Dmitriy N. Dmitriev², Evgeniy A. Chureev³, Sergey V. Dyatchenko⁴

^{1, 2, 3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ viktor.belousov@klgtu.ru

² d1m.dm1trieff@yandex.ru

³ e.chureev@klgtu.ru

⁴ svd.ks@mail.ru

Abstract. Currently, two main forms of fishing are widely known – autonomous and distant-water. The distant-water form of conducting research was popular during the Soviet Union. However, taking into account the economic changes after the collapse of the USSR, they decided to abandon the distant-water form of fishing, since most of the fishing vessels were transferred to commercial organizations, and floating fish processing bases were very outdated and were decommissioned. Large freezing fishing trawlers (hereinafter LFFT), built during the Soviet era, which are currently in operation, continue to conduct autonomous fishing in remote areas of the Atlantic Ocean and deliver finished products to shore independently. In this paper, the feasibility of returning to the distant-water form of fishing is considered, in which the extraction and processing of fish is carried out by vessels of the LFFT type, and the delivery of finished products to shore is carried out by transport refrigerators (hereinafter TR). To determine the feasibility of using TR, it is necessary to evaluate the economic indicators of LFFT in an autonomous form of production, as well as to consider the economic indicators from the joint operation of LFFT and TR. The Northern Region, the Central Region, and the Southeastern region of the Atlantic Ocean are considered as fishing areas. Murmansk and Kaliningrad are designated as the settlement ports of registry, since foreign ports are closed due to sanctions. The article considers the calculation of economic indicators for conducting autonomous fishing of the LFFT type «Pulkovo Meridian», as well as conducting distant-water fishing by several LFFT with the transfer of finished products to the TR type «50 years of the USSR». The economic calculation is performed according to the main indicators of income and expenses of both vessels for one voyage and operational period. Based on the results of the analysis of the calculations performed, the task of designing vessels to ensure the best economic indicators of fishing in the Atlantic Ocean is set.

Keywords: autonomous form of fishing, fishing fleet, fishing, Atlantic Ocean, transport refrigerator, large freezer fishing trawler, economic block, «Pulkovo meridian», «50 years of the USSR».

For citation: Belousov V. A., Dmitriev D. N., Chureev E. A., Dyatchenko S. V. Feasibility of creating large-tonnage vessels of the fishing fleet for distant-water fishery in the Atlantic Ocean. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 97-110. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-97-110.

ВВЕДЕНИЕ

Объем выловленной рыбы в районе Атлантического океана при СССР достигал порядка 2000–2100 тыс. т. Океанский промысел велся преимущественно в экспедиционной форме, при которой средне- и крупнотоннажные добывающие суда типа СРТ, БМРТ и БАТМ обеспечивали добычу водных биоресурсов с последующей передачей их на плавбазы и транспортные рефрижераторы.

Добыча рыбы вне исключительных экономических зон проводится в конвенционных районах следующих организаций [1]:

- Конвенция о рыболовстве в северо-восточной части Атлантического океана – НЕАФК [2];
- Рыбопромысловая консультативная комиссия Юго-Западной Атлантики – РКК ЮЗА [3];
- Организация по рыболовству в Северо-Западной Атлантике – НАФО [4].

С 90-х годов прошлого века по настоящее время в России наблюдается тенденция снижения объема промысла российского рыболовного флота в районах Атлантики. Причиной этого являются политические и экономические события в стране конца XX века, а также крайне медленные темпы обновления промыслового флота.

Данные события повлияли на резкое сокращение промыслового флота в РФ, что, в свою очередь, привело к отказу от экспедиционной формы промысла и переходу к автономной форме, предусматривающей использование для переработки, заморозки, а также хранения и доставки готовой рыбной продукции на берег в основном крупнотоннажных добывающих судов-процессоров. Основу промыслового флота составили крупные суда, построенные в конце 80-х годов на польских и немецких верфях.

Снижение рыболовной и рыбопоисковой деятельности в Атлантическом океане ведет к ослаблению позиций нашей страны в получении квот, сокращению объема улова и, как следствие, увеличению стоимости рыбной продукции для населения.

На сегодняшний день ведение атлантического промысла отечественными судами затруднено, поскольку из-за геополитической обстановки иностранные порты закрыты для российского флота. Важно также отметить, что средний возраст судов, работающих в Атлантике, достигает 25–30 лет.

По указанным причинам становится актуальной возможность эффективно промысла в разных районах Атлантического океана за счет возврата к совместному экспедиционному использованию судов типа БМРТ и ТР. Для этого необходимо провести сравнительную оценку эффективности двух форм промысла в Атлантике:

- автономной, при которой суда-процессоры производят лов, переработку рыбы, заморозку готовой продукции и самостоятельную ее доставку на берег;
- экспедиционной, когда добывающие суда занимаются непосредственно ловом и переработкой продукции, а готовая продукция передается на транспортные рефрижераторы для ее доставки на берег.

РАЙОН ПРОМЫСЛА

В качестве предполагаемых районов промысла рассматриваются северная, центральная и южная части Атлантического океана (точки А, Б, В и Г на рис. 1) с портами приписки Мурманск и Калининград (точки 1 и 2 на рис. 1). Данные порты рассматриваются из-за отсутствия возможности захода судов в иностранные порты вследствие санкций западных стран.



Рис. 1. Районы промысла Атлантического океана
Fig. 1. Fishing areas of the Atlantic Ocean

Район промысла А относится к Северной Атлантике, основной промысел производится в районе Гренландского моря. Акватории Б и В принадлежат Центральной Атлантике, а район Г – Юго-Восточной части Атлантического океана.

Квоты на промысел в данных районах выделяются на общих основаниях, однако осуществить полный вылов не представляется возможным по ряду основных причин:

- а) отечественный промысловый флот, работающий в районе Атлантического океана, с каждым годом стареет и медленно обновляется;

б) большинство судов исчерпало свой модернизационный ресурс, возможности повышения их эффективности отсутствуют;

в) эксплуатация флота по автономной форме промысла приводит к снижению доли времени работы судна непосредственно на промысле из-за необходимости перехода из района добычи рыбы к порту для сдачи улова и в обратном направлении.

В табл. 1 представлено ориентировочное расстояние из портов г. Мурманска и г. Калининграда к различным районам промысла Атлантического океана.

Таблица 1. Ориентировочные расстояния из портов до районов промысла
Table 1. Approximate distances from ports to fishing grounds

Порты приписки	Расстояние до районов промысла, м. мили			
	А	Б	В	Г
г. Мурманск	1100	2550	4350	6500
г. Калининград	1890	2100	3600	5400

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Основной целью данного исследования является обоснование перехода от автономного промысла к экспедиционному, который предусматривает использование судов типа ТР для обслуживания рыбодобывающих судов. Возможность пополнения запасов добывающих судов с ТР позволит увеличить время их нахождения непосредственно на промысле.

Целесообразность использования ТР напрямую зависит от количества рыбодобывающих судов на промысле и от объема их вылова. На сегодняшний день в Атлантическом океане автономный рыбный промысел ведут порядка 11 отечественных БМРТ.

В качестве добывающего судна, занимающегося автономным промыслом, рассматривается БМРТ типа «Пулковский меридиан», поскольку он входит в состав промыслового флота РФ и имеет возможность работать в отдаленных районах Атлантического океана. Характеристики этого судна представлены в табл. 2 [5].

Как приемно-транспортное судно рассматривается универсальный ТР типа «50 лет СССР». Данное судно выбрано из условия неограниченного района плавания и достаточной автономности для работы во всех районах Атлантического океана. Характеристики ТР типа «50 лет СССР» представлены в табл. 2 [5].

Выбор вышеуказанных судов осуществлялся без учета требований, предъявляемых к судам со стороны портовой инфраструктуры, т. к. на данном этапе необходимо сравнить экономическую эффективность двух форм промысла.

Таблица 2. Характеристики выбранных судов
 Table 2. Characteristics of the selected vessels

Наименование величины и обозначение	БМРТ «Пулковский меридиан»	ТР «50 лет СССР»
Длина наибольшая, м, L	103,7	172,03
Ширина, м, B	16,0	23,0
Средняя осадка, м, T	5,87	8,09
Высота борта, м, H	10,2	13,7
Водоизмещение, т, D	5720	19600
Общий объем трюмов и твиндеков, м ³ , V	2826	15887
Численность экипажа, чел, n	94	91
Скорость хода, уз, v_s	14,3	18,9
Мощность главного двигателя, кВт, N_e	5160	8530
Автономность плавания по запасам топлива (рейсовая), сут, A	70	90
Удельный расход топлива, г/кВт·ч, $\overline{g_e}$	204	212
Расход топлива, л/ч, g_e	1224	2103
Грузоподъемность, т, $Q_{гр}$	1364	10028
Среднесуточный вылов рыбы, т/сут, q_c	~ 110	–
Дизельное топливо, т, P_d	96	3278
Тяжелое топливо, т, P_m	1035	3183
Пресная вода, т, P_v	90	840

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РЕЙСА

В зависимости от расстояния между портом приписки и районом промысла меняется и продолжительность рейса БМРТ. В данном случае время рейса определяется согласно [6]:

$$T_p = T_x + T_{пр} + T_{п} + T_{шт}, \quad (1)$$

где T_x – время хода в район промысла и обратно, сут. Время перехода между районом промысла и портом приписки, как правило, зависит от расстояния и эксплуатационной скорости хода судна;

$T_{пр}$ – время нахождения судна на промысле, сут. Период промысла зависит от грузоподъемности судна, а также в большей степени от среднесуточного вылова рыбы;

$T_{п}$ – длительность междурейсовой стоянки в порту, сут. Данная характеристика зависит от грузоподъемности судна и включает в себя погрузочно-разгрузочные работы, задержку при грузовых работах, а также текущий осмотр судна после разгрузки;

$T_{шт}$ – непроизводительное время по метеопричинам. Эта составляющая учитывает метеорологические условия во время промыслового рейса. Коэффициент непроизводительного времени по метеоусловиям принимается равным $a = 0,1$ [7].

Календарное время принимается равным $T_k = 365$ суток, из которых $T_s = 315$ суток – эксплуатационный период судна, а $T_{\text{нр}} = 50$ суток являются не эксплуатационными, относящимися к текущему ремонту и ежегодному освидетельствованию судна.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Производительность БМРТ типа «Пулковский меридиан» за 1 рейс составит [6]:

$$Q_p = T_{\text{пр}} \cdot q_c \quad (2)$$

Годовая производительность [3], вытекающая из формулы (2), определяется как:

$$Q_g = Q_p \cdot n_p \quad (3)$$

где n_p – количество рейсов в год. Представляет собой отношение эксплуатационного периода к продолжительности рейса.

Доход от продажи рыбы определяется следующим выражением [7]:

$$I = Q_g \cdot C_{\text{рыб}} \quad (4)$$

где $C_{\text{рыб}}$ – цена за тонну рыбной продукции. В данных расчетах принято, что 50 % вылова составляет сельдь и 50% – треска. Согласно [8], цена трески за тонну $c_{\text{тр}}$ составляет 240 000 руб., а стоимость сельди, $c_{\text{сд}}$ за тонну – 107 000 руб.

РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

Основные эксплуатационные затраты можно представить в виде [7]:

$$C = C_{\text{эл}} + C_{\text{вф}} + C_{\text{пит}} + C_{\text{кв}} + C_{\text{рол}} + C_{\text{т}} + C_{\text{ос}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{ор}} \quad (5)$$

где $C_{\text{эл}}$ – заработная плата экипажа за эксплуатационный период, принимается равной 20 % от стоимости готовой продукции;

$C_{\text{вф}}$ – отчисления во внебюджетные фонды, руб. В данном расчете отчисления принимаются равными величине единого социального налога и составляют 30 % согласно [9];

$C_{\text{пит}}$ – расходы на питание экипажа, руб. Согласно [10], величину $c_{\text{пит}}$ определяет судовладелец. В расчетах принята среднестатистическая стоимость нормируемого дневного рациона одного члена экипажа (трехразовое питание), равная 1000 руб.;

$C_{\text{кв}}$ – затраты на покупку квот, руб. Данная величина принята в соответствии со среднестатистической стоимостью квот, а именно 25 % от суммы эксплуатационных затрат;

$C_{\text{рол}}$ – затраты на ремонт орудий лова, составляющие 1500 рублей на тонну улова;

$C_{\text{т}}$ – затраты на топливо, руб. Согласно [11] и [12], цена за дизельное топливо марки ДТ ЕВРО кл. 1,2 или ДТ ЭКТО кл. 1,2 составляет $c_{\text{д}} = 75\,000$ руб./т, а стоимость флотского мазутного топлива марки Ф-5 – $c_{\text{м}} = 23\,900$ руб./т. В данных расчетах принято, что расходы на топливо зависят от количества рейсов в год;

$C_{\text{ос}}$ – затраты на общесудовое снабжение, руб. В данных расчетах эта составляющая принята в размере 8 % от стоимости топлива;

$C_{тр}$ – затраты на текущий ремонт, руб. Согласно среднестатистическим данным, данная величина составляет 5 % от эксплуатационных затрат [7];

$C_{оп}$ – общехозяйственные расходы, в том числе агентские и посреднические услуги, руб. Согласно [10], данная величина составляет 3 % от эксплуатационных затрат.

Итоговые расчеты по автономному промыслу БМРТ типа «Пулковский меридиан» представляются в табличной форме. В табл. 3 представлены результаты расчета экономической эффективности судна для четырех районов акваторий в зависимости от порта приписки.

Таблица 3. Результаты расчета экономического эффекта БМРТ
 Table 3. The results of calculating the economy of the LFFT

Наименование	Расстояние от порта Мурманск до районов промысла, морские мили				Расстояние от порта Калининград до районов промысла, морские мили			
	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
	1100	2550	4350	6500	1890	2100	3600	5400
Длительность рейса, сут	29,9	39,2	50,7	64,5	34,9	36,3	45,9	57,4
Время хода в район промысла и обратно, сут	6,41	14,9	25,4	37,9	11,0	12,2	21,0	31,5
Время промысла, сут	12,4				12,4			
Время в порту, сут	8,34				8,34			
Число рейсов в год	10	8	6	5	9	9	7	5
Производительность								
Производительность за рейс, т	1364				1364			
Производительность за год, т	14385	10971	8474	6663	12300	11843	9362	7481
Цена за тонну, руб./т	173500				173500			
Стоимость продукции за год, млрд руб	2,50	1,90	1,47	1,16	2,13	2,05	1,62	1,30
Эксплуатационные затраты, млрд руб.								
Заработная плата экипажа	0,499	0,380	0,294	0,231	0,427	0,411	0,325	0,260
Отчисления	0,150	0,114	0,088	0,069	0,128	0,123	0,097	0,078
Питание экипажа	0,030				0,030			
Затрата на покупку квот	0,261	0,204	0,158	0,128	0,228	0,223	0,177	0,138
Ремонт орудий лова	0,022	0,016	0,013	0,010	0,018	0,018	0,014	0,011
Топливо	0,319	0,255	0,192	0,160	0,287	0,287	0,224	0,160
Общесудовое снабжение	0,026	0,020	0,015	0,013	0,023	0,023	0,018	0,013
Текущий ремонт	0,052	0,041	0,032	0,026	0,046	0,045	0,035	0,028
Общехозяйственные расходы	0,031	0,025	0,019	0,015	0,027	0,027	0,021	0,017
Сумма эксплуатационных расходов, млрд руб.	1,39	1,09	0,840	0,682	1,21	1,19	0,941	0,733
Разница между доходами и расходами, млрд руб.	1,11	0,820	0,630	0,470	0,919	0,868	0,683	0,565

Необходимо отметить, что в расчетах не учитываются затраты на амортизационные отчисления ввиду сложности оценки стоимости постройки нового судна. Анализ полученных данных показывает, что больше половины дохода от стоимости готовой продукции при автономном промысле уходит на покрытие расходов.

Для качественного сравнения двух форм промысла необходимо оценить эффективность от экспедиционной формы с использованием ТР.

При решении данной задачи необходимо обратить внимание на некоторые особенности в работе ТР, в частности, на его доходные и расходные показатели. В первую очередь нужно отметить, что эффективность судна напрямую зависит от его скорости, грузоподъемности, а также грузового устройства [13]. Транспортный рефрижератор типа «50 лет СССР» имеет достаточно высокие значения скорости и грузоподъемности. Время погрузочно-разгрузочных работ данного судна, исходя из технических характеристик грузового устройства, составляет 3,75 т/мин. Учитывая грузоподъемность и грузовместимость ТР типа «50 лет СССР», данное судно может обслуживать до пяти судов, аналогичных БМРТ типа «Пулковский меридиан», полностью обеспечивая их топливом, провизией и приемом готовой рыбной продукции. Таким образом, при грамотном планировании промысла доход ТР будет зависеть от 5 БМРТ, работающих в заданном районе промысла. Основные расходы ТР (C) определяются по формуле (3), но с учетом стоимости погрузочно-разгрузочных работ в порту ($C_{\text{пр}}$) [14], а также основных расходов пяти БМРТ типа «Пулковский меридиан» (табл. 3).

Стоимость ремонта ТР с учетом текущего обслуживания морозильных трюмов и грузового устройства, а также агентских и посреднических сборов составляет 13 % от эксплуатационных затрат. В данную составляющую также входят затраты на ремонт орудий лова, обслуживаемых БМРТ.

Стоимость погрузочно-разгрузочных работ в порту принята (согласно [15] и [16]) равной средней цене, составляющей 4000 руб./т мороженой рыбы в таре между портами Калининградской области и портом г. Мурманска.

Итоговые результаты расчетов экономических показателей экспедиционной формы промысла пяти судов типа БМРТ и одного ТР типа «50 лет СССР» в четырех районах промысла и портах приписки Мурманск и Калининград представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчета экономического эффекта экспедиционного промысла пяти БМРТ и одного ТР
 Table 4. The results of calculating the economic effect of distant-water fishery of five LFFT and one TR

Наименование	Расстояние от порта Мурманск до районов промысла, морские мили				Расстояние от порта Калининград до районов промысла, морские мили			
	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
	1100	2550	4350	6500	1890	2100	3600	5400
Длительность рейса (5 БМРТ), сут.	51,1	58,1	66,8	77,2	54,9	55,9	63,2	71,9
Время хода ТР в район промысла и обратно, сут	5,37	12,35	21,06	31,48	9,15	10,17	17,43	26,15
Погрузочные работы в море, сут	17,75				17,75			
Переход к другим судам, сут	1				1			

Стоянки ТР в порту, сут	27				27			
Ежегодное освидетельствование, сут.	14				14			
Число рейсов в год	7	6	5	4	6	6	5	5
Производительность								
Производительность 1 БМРТ за рейс, т	1364				1364			
Производительность 1 БМРТ за год, т	14385	10971	8474	6663	12300	11843	9362	7481
Производительность 5 БМРТ за год, т	71925	54855	42370	33315	61500	59215	46810	37405
Цена за тонну, руб/т	173500				173500			
Стоимость доставленного вылова за год, млрд руб	87,4	57,1	36,8	23,1	64,0	61,6	40,6	32,4
Эксплуатационные затраты на пять БМРТ и один ТР, млрд руб.								
Заработная плата экипажа	17,5	11,4	7,35	4,62	12,8	12,3	8,12	6,49
Отчисления	5,24	3,43	2,21	1,39	3,84	3,70	2,44	1,95
Питание экипажа	0,177				0,177			
Затраты на покупку квот	6,32	4,27	2,86	1,89	4,72	4,56	3,11	2,58
Топливо	2,25	1,93	1,61	1,29	1,93	1,93	1,61	1,61
Общесудовое снабжение	0,113	0,097	0,081	0,065	0,097	0,097	0,081	0,081
Затраты на погрузочно-разгрузочные работы	0,027				0,027			
Текущий ремонт	3,29	2,22	1,49	0,98	2,45	2,37	1,62	1,34
Сумма эксплуатационных расходов, млрд руб.	34,9	23,6	15,8	10,4	26,0	25,2	17,2	14,2
Разница между доходами и расходами, млрд руб.	52,5	33,5	21,0	12,7	38,0	36,4	23,4	18,2

ВЫВОДЫ

Сводные данные экономических показателей в рассмотренных случаях организации промысла представлены в табл. 5.

Таблица 5. Экономические показатели рассмотренных форм промысла
 Table 5. Economic indicators of the considered forms of fishing

Наименование	Расстояние от порта Мурманск до районов промысла, морские мили				Расстояние от порта Калининград до районов промысла, морские мили			
	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
		1100	2550	4350	6500	1890	2100	3600
Автономный промысел БМРТ типа «Пулковский меридиан»								
Стоимость выработанной продукции за год, млрд руб.	2,50	1,90	1,47	1,16	2,13	2,05	1,62	1,30

Сумма эксплуатационных расходов 1 БМРТ, млрд руб.	1,39	1,086	0,840	0,682	1,21	1,19	0,941	0,733
Стоимость выработанной продукции за год 5 БМРТ, млрд руб.	12,5	9,50	7,35	5,80	10,7	10,3	8,10	6,50
Сумма эксплуатационных расходов 5 БМРТ, млрд руб.	6,95	5,43	4,20	3,41	6,05	5,95	4,71	3,67
Разница между доходами и расходами, млрд руб.	5,55	4,07	3,15	2,39	4,65	4,35	3,39	2,83
Экспедиционный промысел – работа судов БМРТ (5 ед.) и ТР (1 ед.)								
Стоимость доставленного вылова за год, млрд руб.	87,4	57,1	36,8	23,1	64,0	61,6	40,6	32,4
Сумма эксплуатационных расходов, млрд руб.	34,9	23,6	15,8	10,4	26,0	25,2	17,2	14,2
Разница между доходами и расходами, млрд руб.	52,5	33,5	21,0	12,7	38,0	36,4	23,4	18,2

Анализ полученных результатов показывает, что экспедиционный промысел, при котором ТР обслуживает несколько судов типа БМРТ, достигает большего экономического эффекта за расчетный период в сравнении с автономной формой промысла такого же числа траулеров. Лучший результат по эффективности промысла достигается за счет увеличения времени нахождения добывающих судов на промысле из-за уменьшения времени перехода от порта на место промысла и в обратном направлении. Функции доставки улова на берег и пополнения запасов промысловых судов берут на себя транспортные рефрижераторы.

Возврат к экспедиционной форме промысла позволит уменьшить автономность добывающих судов, увеличив при этом вместимость грузовых трюмов и мощность рыбообрабатывающих линий. С целью получения наибольшего экономического эффекта при совместном использовании судов указанного типа авторы ставят перед собой задачу по разработке новых проектов следующих судов, необходимых для ведения описанного экспедиционного промысла в Атлантическом океане:

- крупнотоннажного судна-процессора, предназначенного для добычи морских биоресурсов, их переработки, заморозки и непродолжительного хранения готовой продукции с последующей передачей ее на транспортный рефрижератор;

- транспортного рефрижератора – судна, предназначенного для приема и хранения готовой рыбной продукции в открытом море, перевозки и пополнения судовых запасов, в том числе с возможностью транспортировки сменного экипажа промысловых судов.

При разработке проектов вышеуказанных судов необходимо учитывать требования о полной выборке выделяемых России квот на добычу биоресурсов в заданном районе, что обеспечит минимальную стоимость готовой продукции для конечного потребителя – граждан Российской Федерации. Также необходимо обеспечить комплексный учет всех факторов работы судов в современных технико-экономических условиях.

Список источников

1. Конвенциальные районы вне ИЭЗ рыболовства в Атлантическом океане и Южной Пацифике как перспектива развития отечественного рыболовства / С. М. Касаткина [и др.] // Материалы АтлантНИРО. URL: <http://atlant.vniro.ru> (дата обращения: 01.12.2023).
2. Конвенция о рыболовстве в северо-восточной части Атлантического океана. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901880160?marker> (дата обращения: 01.12.2023).
3. South Atlantic Fishery Management Council. Fish rules. URL: <https://safmc.net/regulations/> (дата обращения: 01.12.2023).
4. Northwest Atlantic Fisheries Organization. Convention. URL: <https://www.nafo.int/> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Флот рыбной промышленности: справочник типовых судов / под ред. Б. А. Антипова. М.: Транспорт, 1990. 381 с.
6. Иванов В. П. Оптимизационное проектирование рыболовных судов: учеб. пособие. Калининград: Издательство КГТУ, 2005. 190 с.
7. Иванов В. П. Технико-экономические основы создания рыболовных судов: учебник. Калининград: Издательство БГАРФ, 2010. 275 с.
8. ГКУ КК «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр». Обзор мирового и российского рынков рыбы и морепродукции по состоянию на 05.12.2023 год. URL: <http://www.kaicc.ru/ceny-na-myaso-i-moloko/obzor-gynka-rybu-po-44> (дата обращения: 07.12.2023).
9. Тарифы страховых взносов. Федеральная налоговая служба Российской Федерации. URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/taxation/insprem/> (дата обращения: 07.12.2023).
10. Степанова Л. А. Экономические обоснования при проектировании судов: учеб. пособие. Калининград: Издательство КГТУ, 2002. 47 с.
11. Судовое дизельное топливо. URL: http://oil.krab.ru/oil_table/94/ (дата обращения: 01.12.2023).
12. Флотский мазут. URL: <https://toplivo777.ru/katalog/mazut> (дата обращения: 01.12.2023).
13. Бронников А. В. Проектирование транспортных судов: учебник. Ленинград: Судостроение, 1991. 320 с.
14. Раков А. И., Севастьянов Н. Б. Проектирование рыболовных судов: учебник. Ленинград: Судостроение, 1981. 376 с.
15. Стоимость погрузочно-разгрузочных работ в порту г. Мурманска. URL: <https://mmrp.ru/services/tarify/214/> (дата обращения: 05.12.2023).
16. Стоимость погрузочно-разгрузочных работ в Калининградском морском порту. URL: <https://www.kseport.ru/index.php/ru/uslugi> (дата обращения: 05.12.2023).

References

1. Kasatkina S. M. [i dr.]. Konventsial'nye rayony vne IEZ rybolovstva v Atlanticheskom okeane i Yuzhnoy Patsifike kak perspektiva razvitiya otechestvennogo rybolovstva [Conventional fishing areas outside the EEZ in the Atlantic Ocean and Southern Pacific as a prospect for the development of domestic fisheries]. Materialy AtlantNIRO. Available at: <http://atlant.vniro.ru> (Accessed 01 December 2023).
2. Konventsiya o rybolovstve v severo-vostochnoy chasti Atlanticheskogo okeana. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901880160?marker> (Accessed 01 December 2023).
3. South Atlantic Fishery Management Council. Fish rules. Available at: <https://safmc.net/regulations/> (Accessed 01 December 2023).
4. Northwest Atlantic Fisheries Organization. Convention. Available at: <https://www.nafo.int/> (Accessed 01 December 2023).
5. Flot rybnoy promyshlennosti: spravochnik tipovykh sudov [Fishing fleet: handbook of standard vessels]. Pod red. B. A. Antipova. Moscow, Transport Publ., 1990, 381 p.
6. Ivanov V. P. *Optimizatsionnoe proektirovanie rybolovnykh sudov: uchebnoe posobie* [Optimization design of fishing vessels: textbook]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2005, 190 p.
7. Ivanov V. P. *Tekhniko-ekonomicheskie osnovy sozdaniya rybolovnykh sudov: uchebnyk* [Technical and economic foundations of the creation of fishing vessels: students' book]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2010, 275 p.
8. GKU CC "Kuban Agricultural information and Consulting Center". Overview of the global and Russian fish and seafood markets as of 05.12.2023. Available at: <http://www.kaicc.ru/ceny-na-myaso-i-moloko/obzor-rynka-ryby-po-44> (Accessed 07 December 2023).
9. Tarify strakhovykh vnosov. Federal'naya nalogovaya sluzhba Rossiyskoy Federatsii. Available at: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/taxation/insprem/> (Accessed 07 December 2023).
10. Stepanova L. A. *Ekonomicheskie obosnovaniya pri proektirovanii sudov: uchebnoe posobie* [Economic justifications for the design of ships: textbook]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2002, 47 p.
11. Sudovoe dizel'noe toplivo. Available at: http://oil.krab.ru/oil_table/94/ (Accessed 01 December 2023).
12. Flotskiy mazut. Available at: <https://toplivo777.ru/katalog/mazut> (Accessed 01 December 2023).
13. Bronnikov A. V. *Proektirovanie transportnykh sudov: uchebnyk* [Design of transport vessels: students' book]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1991, 320 p.
14. Rakov A. I. Sevast'yanov N. B. *Proektirovanie promyslovykh sudov: uchebnyk* [Designing fishing vessels: students' book]. Leningrad, Sudostroenie, 1981, 376 p.

15. Stoimost' pogruzochno-razgruzochnykh rabot v portu g. Murmanska. Available at: <https://mmrp.ru/services/tarify/214/> (Accessed 05 December 2023).

16. Stoimost' pogruzochno-razgruzochnykh rabot v Kaliningradskom morskome portu. Available at: <https://www.kscport.ru/index.php/ru/uslugi> (Accessed 05 December 2023).

Информация об авторах

В. А. Белоусов – аспирант кафедры судостроения, судоремонта и морской техники

Д. Н. Дмитриев – аспирант кафедры судостроения, судоремонта и морской техники

Е. А. Чуреев – заместитель директора Научно-исследовательского центра судостроения ФГБОУ ВО «КГТУ»

С. В. Дятченко – доктор технических наук, профессор кафедры судостроения судоремонта и морской техники

Information about the authors

V. A. Belousov – PhD student of the Department of Shipbuilding, Ship Repair and Marine Engineering

D. N. Dmitriev – PhD student of the Department of Shipbuilding, Ship Repair and Marine Engineering

E. A. Chureev – Deputy Director of the Scientific Research Center of Shipbuilding at KSTU

S. V. Dyatchenko – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Shipbuilding, Ship Repair and Marine Engineering

Статья поступила в редакцию 18.12.2023; одобрена после рецензирования 20.01.2024; принята к публикации 16.02.2024.

The article was submitted 18.12.2023; approved after reviewing 20.01.2024; accepted for publication 16.02.2024.

Научная статья

УДК 629.12

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-111-124

Перспективы использования жесткого поливинилхлорида в малотоннажном судостроении

Дмитрий Александрович Романюта

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

dmitrij.romanyuta@kltu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0828-5990>

Аннотация. В работе исследуется вопрос возможности применения жесткого поливинилхлорида (ПВХ) в качестве основного материала корпусов малотоннажных судов. Представлена статистика применения материалов корпусов маломерных судов. На 2019 г. в России количество судов, изготовленных из полимерных материалов, не превышало 9 %. Из полимерных материалов подробно рассмотрено применение полиэтилена низкого давления (ПНД) и ПВХ. Приведены основные отечественные организации, занимающиеся проектированием и постройкой судов из ПНД, а также примеры их работ. Выполнено сравнение физико-механических характеристик ПНД и жесткого ПВХ. На основании сравнительного анализа показано, что жесткий поливинилхлорид, с точки зрения физико-механических характеристик, во многом лучше, чем полиэтилен низкого давления. Выделены характеристики и свойства жесткого поливинилхлорида, ограничивающие его использование в качестве основного материала корпуса судна. Проведено сравнительное исследование ползучести образцов из жесткого ПВХ и ПНД. Испытания проводились при усилиях, соответствующих растягивающим напряжениям 5–15 МПа. Каждый образец испытывался на протяжении 2 часов. При выбранных расчетных значениях напряжений образцы из ПНД показали ярко выраженную ползучесть в отличие от образцов из жесткого ПВХ. Отмечено, что кривая ползучести образцов из полиэтилена низкого давления имеет ярко выраженную ступенчатую форму. Представлены примеры способов, позволяющих уменьшить токсичность при горении и улучшить сопротивляемость ползучести, устойчивость к ультрафиолетовому излучению (фотодеструкцию), ударную прочность и морозостойкость жесткого ПВХ, чтобы расширить возможность применения материала в качестве основного в корпусах малотоннажных судов.

Ключевые слова: ПНД, жесткий ПВХ, ползучесть, сравнение характеристик, полимерные материалы, физико-механические характеристики, испытания.

Благодарности: автор выражает благодарность компании ООО «Калининградский композитный завод» за предоставление материалов для испытаний.

Для цитирования: Романюта Д. А. Перспективы использования жесткого поливинилхлорида в малотоннажном судостроении // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 111-124. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-111-124.

Original article

Prospects for the use of rigid polyvinyl chloride in small-tonnage shipbuilding

Dmitriy A. Romanyuta

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

dmitrij.romanyuta@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0828-5990>

Abstract. The paper studies the application of rigid polyvinyl chloride (PVC) as the main material of hulls of small vessels. The paper presents the statistics of application of materials of hulls of small vessels. As of 2019, the number of vessels made of polymeric materials in Russia did not exceed 9%. Out of all polymeric materials, the paper considers in detail application of low-pressure polyethylene (LDPE) and PVC is considered. The main domestic organizations engaged in design and construction of HDPE vessels and examples of their works are given. Physical and mechanical characteristics of HDPE and rigid PVC are compared. On the basis of comparative analysis it is shown that rigid PVC is better than low-pressure polyethylene in many respects from the point of view of physical and mechanical characteristics. The characteristics and properties of rigid polyvinylchloride, limiting its use as the main material of the ship hull, are highlighted. A comparative study of creep behavior of rigid PVC and HDPE specimens has been carried out. The tests have been carried out at forces corresponding to tensile stresses of 5–15 MPa. Each sample has been tested for 2 hours. At the selected design stress values, the HDPE specimens showed pronounced creep, in contrast to the rigid PVC specimens. It has been noted that the creep curve of low-pressure polyethylene samples has a pronounced step form. Examples of methods to reduce toxicity in combustion and improve resistance are presented.

Keywords: HDPE, rigid PVC, creep, performance comparison, polymeric materials, physical-mechanical characteristics, tests.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to the company LLC "Kaliningrad Composite Plant" for providing materials for testing.

For citation: Romanyuta D. A. Prospects for the use of rigid polyvinyl chloride in small-tonnage shipbuilding // *Izvestiya KSTU = KSTU News*. 2024;(73): 111-124. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-111-124.

ВВЕДЕНИЕ

Рынок малотоннажных судов в России представлен достаточно обширно, имеются многочисленные компании и предприятия, занимающиеся проектированием и постройкой малотоннажных судов различного типа, класса и назначения, с разнообразием материала корпуса. Так, согласно статистике 2019 г. [1], структура рынка маломерных судов по материалу корпуса в России выглядит следующим образом: стальные суда – 34 %, алюминиевые – 26 %, композитные – 22 %, деревянные – 9 %, прочие – 9 %.

В категории «композитные» учитывались суда с многокомпонентной структурой корпуса – армоцементом, стеклопластиком, углепластиком и т. д.

В категорию «прочие» вошли суда из различных материалов – шпона, полимерных материалов и др. Из полимерных материалов в качестве основного материала корпуса судна широко используется ПНД [2]. Помимо ПНД, среди полимерных материалов применяется ПВХ, однако непластифицированный (жесткий) ПВХ, несмотря на его положительные качества и свойства, в судостроении применения не нашел, причем не только на отечественном, но и на мировом рынке.

Цель данной работы – рассмотреть возможность использования жесткого ПВХ в качестве основного материала корпусов малотоннажных судов.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАЛОТОННАЖНОМ СУДОСТРОЕНИИ

Полиэтилен низкого давления (полиэтилен высокой плотности, ПНД, ПЭВП, (HDPE, LPPE – *англ.*) – это полимер высокой плотности, получаемый реакцией полимеризации мономера этилена при низком давлении [3]. Листы ПНД производятся методом плоскощелевой экструзии из гранул термопластичного полиэтилена определенной марки или прессованием.

Полиэтилен низкого давления хорошо зарекомендовал себя в судостроении по ряду причин [2–4]: отсутствие коррозии; низкое водопоглощение; высокая удельная прочность; низкая плотность, за счет чего материал имеет положительную плавучесть; высокая механическая сопротивляемость ударам; устойчивость к старению; высокая морозостойкость (до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) и др.

В связи с этим суда из ПНД активно проектируются и строятся по всему миру. Среди отечественных организаций, занимающихся проектированием и строительством таких судов, известны ООО «Арктик-Борт» (катера и лодки длиной от 3,0 до 12,0 м), АО «Риф» (катера и лодки длиной от 3,0 до 19,5 м), АО «ЮжНИИМФ» (катера и лодки длиной от 5,5 до 12,0 м), ООО «ОПТК» (катера и лодки длиной от 4,0 до 6,0 м), ООО «Компания Дизель» (катера длиной от 6,0 до 7,0 м) и др.

Из полиэтилена низкого давления изготавливают как суда с обычными (классическими) корпусами, так и суда-рибы. Суда-рибы из ПНД имеют отличительную особенность – их жесткий корпус и баллон выполнены из самого ПНД, в то время как большинство других компаний производят жесткий корпус из алюминия или стеклопластика, а баллон – из пластифицированного ПВХ [5]. Использование баллона из ПНД обусловлено тем, что полиэтилен низкого давления более устойчив к механическим повреждениям, чем ПВХ. Пример катера-рыба из ПНД длиной 8,5 м от компании «Арктик-Борт» изображен на рис. 1. На рис. 2 представлен проект разъездного судна длиной 12 м от компании АО «ЮжНИИМФ», на рис. 3 – проект катера из ПНД длиной 19,5 м от компании АО «Риф».



Рис. 1. Катер-риб из ПНД длиной 8,5 м
Fig. 1. Rib boat made of HDPE with a length of 8.5 m



Рис. 2. Проект разъездного судна из ПНД длиной 12,0 м
Fig. 2. Design of a HDPE crew boat with a length of 12.0 m



Рис. 3. Проект катера из ПНД длиной 19,5 м
Fig. 3. Design of a HDPE boat with a length of 19.5 m

Помимо полиэтилена низкого давления, в качестве основного материала корпуса судна может использоваться ПВХ – синтетический термопластичный материал, получаемый реакцией полимеризации мономера винилхлорида [6]. В судостроении нашел активное применение пластифицированный ПВХ, представляющий собой эластичный (мягкий) материал, получаемый в результате полимеризации мономера винилхлорида с определенным пластификатором [7]. Из пластифицированного ПВХ изготавливают надувные лодки, а также надувные баллоны для судов-рибов (как было упомянуто выше). Пример типовой ПВХ лодки изображен на рис. 4.

Помимо пластифицированного ПВХ существует также непластифицированный (жесткий) ПВХ, получаемый в результате полимеризации мономера винилхлорида без применения пластификаторов. Жесткий ПВХ является одним из самых долговечных полимеров при нормальной температуре окружающей среды, из него изготавливают подоконники, оконные рамы, витрины магазинов, мебель, шпунты, корпуса машин и т. д. [8].



Рис. 4. Надувная лодка из ПВХ длиной 2,8 м
Fig. 4. Inflatable PVC boat with a length of 2.8 m

Среди основных преимуществ жесткого ПВХ можно выделить следующие [9, 10]: отсутствие коррозии, низкое водопоглощение, высокая удельная прочность, высокая механическая сопротивляемость ударам, устойчивость к истиранию и т. д.

Преимущества жесткого ПВХ во многом пересекаются с преимуществами ПНД, описанными ранее. В то же время, суда из жесткого ПВХ практически не встречаются, не считая плотов, собранных из поливинилхлоридных труб. Патентный поиск судов с корпусом из жесткого ПВХ также не дал никаких результатов.

СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНД И ЖЕСТКОГО ПВХ

Чтобы установить причины, по которым жесткий ПВХ не используется в качестве основного материала корпуса судна, необходимо детально рассмотреть его недостатки. Ввиду того, что по свойствам материал похож на полиэтилен низкого давления, было принято решение принять ПНД в качестве «эталона» для сравнения основных свойств и характеристик. Сравнение усредненных характеристик ПНД и жесткого ПВХ представлено в табл. 1. У каждого численного значения в квадратных скобках указана ссылка на источник. Характеристики ПНД приняты для полиэтилена класса ПЭ-100.

Табл. 1. Сравнение усредненных характеристик жесткого ПВХ и ПНД
Table 1. Comparison of the characteristics of rigid PVC and HDPE

Характеристика	Жесткий ПВХ	ПНД
Плотность, г/см ³	1,39 ^[11]	0,958 ^[12]
Водопоглощение, %	0,22 ^[13]	0,113 ^[12]
Твердость по Шору (шкала D)	80,1 ^[11]	62,1 ^[12]
Предел прочности на растяжение, МПа	37,0 ^[11]	26,8 ^[12]
Относительное удлинение при разрыве, %	110 ^[11]	616 ^[12]
Модуль упругости при растяжении, ГПа	2,77 ^[11]	0,991 ^[12]
Предел текучести при изгибе, МПа	80,8 ^[11]	48,7 ^[12]
Модуль упругости при изгибе, ГПа	2,79 ^[11]	1,19 ^[12]
Ударная вязкость по Шарпи на образце с надрезом, Дж/см ²	0,582 ^[11]	4,43 ^[12]

Коэффициент Пуассона	0,38 ^[14]	0,36 ^[15]
Коэффициент линейного теплового расширения, 1/°С	66,2 ^[11]	116 ^[12]
Температура размягчения по Вика, °С	84,5 ^[11]	116 ^[12]
Температура хрупкости, °С	-12,9 ^[11]	-79,0 ^[12]
Температура плавления, °С	195 ^[11]	213 ^[12]

Анализируя приведенные выше данные можно заключить:

1. Жесткий ПВХ имеет на порядок меньшую характеристику ударной вязкости, чем ПНД. Как следствие, ПНД лучше воспринимает ударные нагрузки, чем жесткий ПВХ;

2. Жесткий ПВХ обладает в два раза большим показателем водопоглощения, чем ПНД, но в абсолютных значениях все равно достаточно низкий;

3. Температура хрупкости жесткого ПВХ существенно выше, чем у ПНД. Это ограничивает условия работы судна из ПВХ в зимнее время;

4. Показатели температуры плавления, температуры размягчения по Вика¹ (температура, при которой стандартный индентор с плоской нижней поверхностью под действием нагрузки проникает в испытуемый образец, нагреваемый с постоянной скоростью, на глубину 1 мм) и плотности жесткого ПВХ также хуже, чем у ПНД, но эти показатели не являются существенно важными при проектировании судна;

5. Все прочие физико-механические характеристики жесткого ПВХ лучше, чем у ПНД.

Также необходимо отметить другие недостатки жесткого ПВХ, не отраженные в табл. 1, а именно ползучесть [16]. При определенных условиях, под воздействием длительной статической нагрузки в материале возникают медленные, но постоянные пластические деформации. Корпус судна, находясь в воде, подвергается длительной статической и переменной динамической нагрузке, поэтому способность сопротивляться ползучести является важным показателем. Данный недостаток свойственен и ПНД, и жесткому ПВХ.

Еще одним недостатком является ультрафиолетовая деградация (фотодеструкция) [17]. Под воздействием ультрафиолетового излучения материал может потерять цвет, потускнеть, растрескаться или даже разрушиться, что свойственно и ПНД, и жесткому ПВХ.

Отрицательным фактором можно назвать токсичность при горении [18]. Жесткий ПВХ не горит и не поддерживает открытого горения, но при нагреве до 100–140 °С материал начинает разлагаться с выделением ядовитых и токсичных веществ.

Обобщая приведенную выше информацию, можно выделить основные направления улучшения жесткого ПВХ для расширения возможности использования его в судостроении в качестве материала корпуса судна:

1. Повышение ударной прочности материала;
2. Повышение устойчивости к УФ-деградации;
3. Понижение температуры хрупкости (увеличение морозостойкости);

¹ ГОСТ 15088-2014. Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика

4. Уменьшение токсичности при горении;
5. Повышение сопротивляемости ползучести.

ИСПЫТАНИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ

Ползучесть свойственна большинству полимерных материалов, и ПНД с жестким ПВХ не являются исключениями. Оценить и сравнить свойства ползучести обоих материалов с помощью открытых источников не удалось. В то же время, как было сказано выше, сопротивляемость ползучести является важным показателем для материала, выступающего основным материалом корпуса судна. В связи с этим было принято решение сравнить характеристики ползучести с помощью непосредственных испытаний в лабораторном комплексе научно-исследовательского центра судостроения (НИЦС) Калининградского государственного технического университета.

Испытания проводились согласно ГОСТ 18197-2014² на образцах, форма и размер которых указаны в ГОСТ 11262-2017³. В качестве материала образцов использовался ПНД, изготовленный из полиэтилена класса ПЭ-100, и жесткий ПВХ, безвозмездно предоставленный компанией ООО «Калининградский композитный завод».

Чертеж типового образца для испытаний представлен на рис. 5. Было изготовлено 5 образцов из каждого материала для испытаний на нагрузки, соответствующие напряжениям 5 МПа, 7,5 МПа, 10 МПа, 12,5 МПа и 15 МПа. По результатам замеров средняя ширина поперечного сечения ПНД-образцов $b = 10,1$ мм, толщина $t = 5,0$ мм. Средняя ширина поперечного сечения ПВХ образцов $b = 10,1$ мм, толщина $t = 5,9$ мм. Длительность испытания для каждого образца при каждой нагрузке – 2 часа.

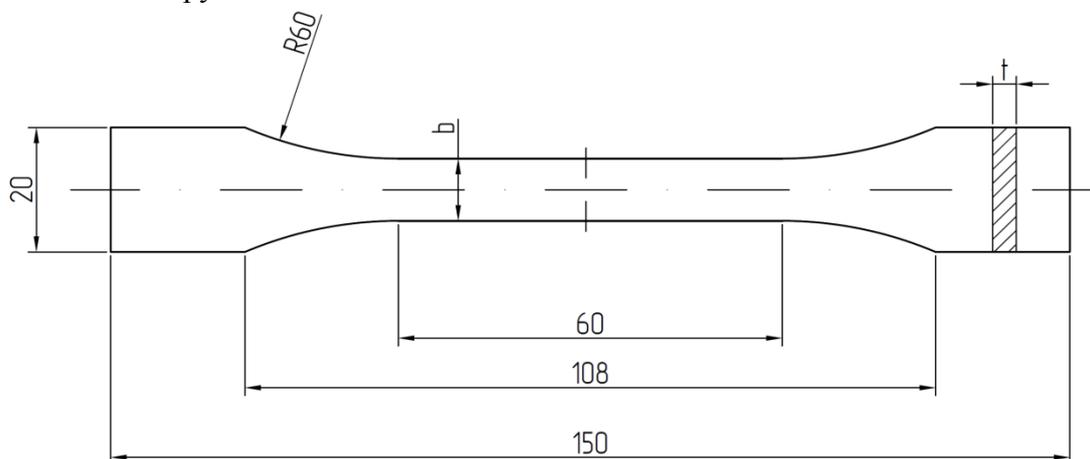


Рис. 5. Форма и размер образца для испытаний на ползучесть
Fig. 5. Shape and size of specimen for creep testing

² ГОСТ 18197-2014. Пластмассы. Метод определения ползучести при растяжении

³ ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Методы испытаний на растяжение



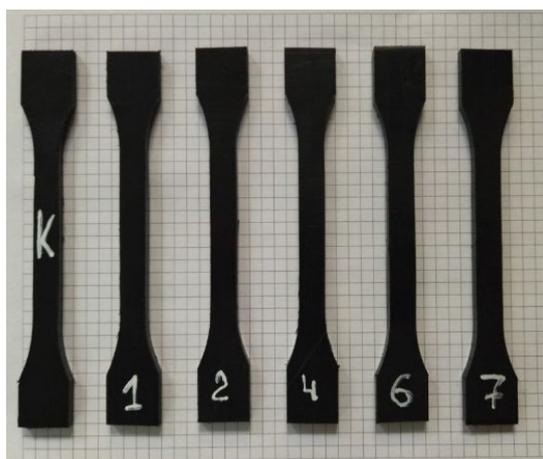
Рис. 6. Стенд для испытаний на ползучесть

Fig. 6. Creep test bench

Стенд для испытаний на ползучесть представлен на рис. 6. Он представляет собой жестко закрепленную консольную балку 1, к которой прикреплен верхний захват 2 для испытаний. На данном захвате размещена верхняя часть датчика перемещений 3. В захват 2 помещается образец 4, на нижнюю часть которого устанавливается нижний захват для испытаний 5. На захвате 5 размещена ответная часть датчика перемещения 3. К нижней части захвата 5 крепится подвес 6, на котором находятся грузы 7, обеспечивающие необходимое усилие для растяжения образца 4. В массу растягивающего усилия включаются массы нижнего захвата 5, подвеса 6, грузов 7 и соответствующей части датчика перемещения 3.

Данные с датчика перемещения поступали на измерительный комплекс «МС-026», фиксирующий значение удлинения образца от времени. Измерительная станция записывала данные с датчика перемещения с частотой 5 Герц, т. е. 5 замеров в секунду. Таким образом, на каждое испытание образца длительностью 2 часа было получено 36 000 значений удлинения.

На рис. 7 (а) представлены образцы из ПНД до испытаний, на рис. 7 (б) – после них. Испытания проводились при температуре 26,5 °С и влажности 32,4 %.



(а)



(б)

Рис. 7. Образцы из ПНД до (а) и после (б) испытаний

Fig. 7. HDPE specimens before (a) and after (b) testing

По результатам испытаний были построены кривые ползучести для каждого образца. Семейство кривых для ПНД-образцов изображено на рис. 8.

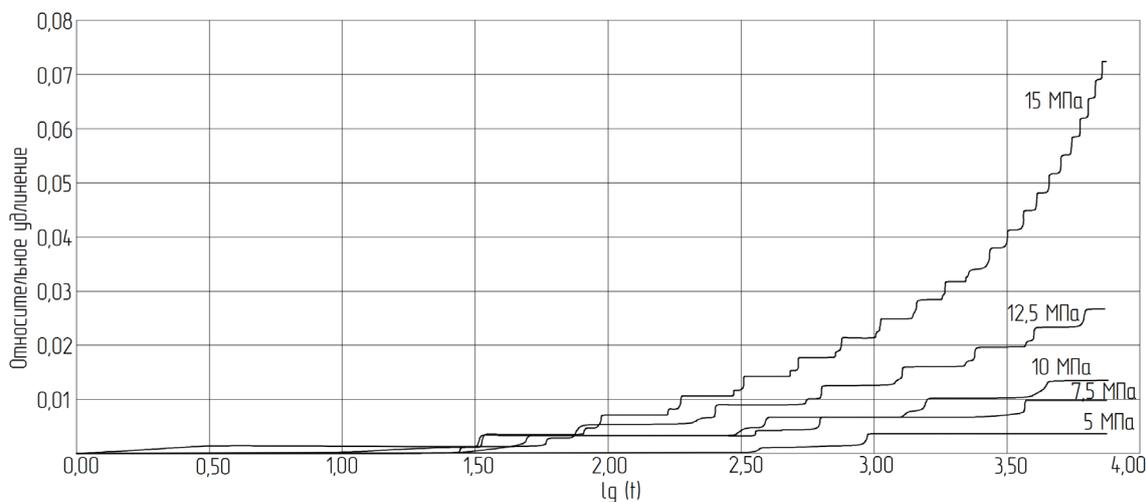


Рис. 8. Кривые ползучести для ПНД-образцов
Fig. 8. Creep curves for HDPE-samples

Следует отметить, что полученные кривые ползучести имеют ярко выраженный ступенчатый характер, причем значения удлинения от времени по каждой кривой записывались в непрерывном режиме, из чего следует, что данный эффект нельзя объяснить дискретностью фиксируемого удлинения. Изучение формы данных кривых с выявлением причин требует дополнительных исследований.

Образцы из жесткого ПВХ были испытаны на той же установке (рис. 6) при нагрузках, соответствующих напряжениям 12,5 МПа и 15 МПа, при этом удлинений за 2 часа практически не наблюдалось (в пределах погрешности измерения датчика перемещения). В связи с этим кривые ползучести по образцам из жесткого ПВХ не представлены.

Таким образом, жесткий ПВХ имеет существенно лучшую сопротивляемость ползучести, чем ПНД. Так, при усилии, соответствующем растягивающему напряжению в 15 МПа, образец из ПНД за 2 часа удлинился на 11 мм, а образец жесткого ПВХ удлинения практически не получил.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОГО ПВХ

Повышение ударной прочности и морозостойкости

Известно [19, 20], что повысить ударную прочность жесткого ПВХ возможно путем введения в его состав сополимера метилметакрилата с бутадиеном и стиролом или сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом.

Также имеется возможность ввести в состав жесткого ПВХ двойные сополимеры этилена с пропиленом или тройные сополимеры этилена с пропиленом [19]. Данное решение позволяет повысить ударную прочность и морозостойкость, но в то же время у материала снижается теплостойкость и твердость.

В некоторых исследованиях показано [20], что при добавлении в состав хлорированного полиэтилена у итогового изделия также повышаются характеристики ударной прочности и морозостойкости. По мере увеличения содержания хлорированного полиэтилена в составе ударная прочность и морозостойкость жесткого ПВХ растут, но только до определенного уровня.

Повышение устойчивости к УФ-деградации

Данная проблема решается путем добавления в состав исходного материала специальных красителей, наполнителей и поглотителей УФ-излучения [21]. Часто в качестве таких веществ используются бензофенон или бензотриазол. Также в состав исходного материала можно добавить диоксид титана, который зарекомендовал себя как хороший поглотитель УФ-излучения.

Более того, существует целый класс различных светостабилизаторов, совместимых с жестким ПВХ, призванных устранить проблемы УФ-деградации [22].

Уменьшение токсичности при горении

При горении жесткий ПВХ выделяет ряд токсичных веществ, среди которых присутствует монооксид углерода (CO) и хлористый водород (HCl). Для решения данной проблемы в состав ПВХ вносят огнестойкие и дымоподавляющие добавки [23, 24], которые не делают жесткий ПВХ абсолютно безопасным при горении, но увеличивают температуру воспламенения и снижают дымообразование, за счет чего использование этого материала становится более безопасным.

Повышение сопротивляемости ползучести

Несмотря на то, что ползучесть у образцов из жесткого ПВХ не так ярко выражена, как у образцов из ПНД, она все равно присутствует, но только при больших нагрузках, чем рассматривалось выше.

Согласно некоторым исследованиям, введение в состав жесткого ПВХ наполнителя в виде карбоната кальция (CaCO_3) [25, 26] позволяет улучшить характеристики материала в отношении ползучести.

Еще одним возможным решением снижения ползучести материала является армирование его различными волокнистыми материалами (органическими, углеродными, керамическими и т. д.). Имеются исследования, что армирование ПВХ одностенными углеродными нанотрубками позволяет снизить ползучесть материала. Оптимальное количество трубок по массе состава составляет около 1 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полимерные материалы (на примере полиэтилена низкого давления или мягкого пластифицированного поливинилхлорида) уже применяются в малотоннажном судостроении в качестве основного материала корпуса судна. Однако жесткий (непластифицированный) поливинилхлорид в настоящее время в судо-

строении не используется, хотя имеет большие перспективы. По сравнению с ПНД жесткий ПВХ уступает по некоторым характеристикам и имеет еще ряд дополнительных существенных недостатков, однако, как показывают многочисленные исследования, все эти недостатки можно решить на стадии создания самого материала путем введения различных добавок и наполнителей.

Таким образом, использование жесткого ПВХ в малотоннажном судостроении в качестве основного материала корпуса судна возможно. Более того, данный материал может показать себя существенно лучше, чем уже хорошо зарекомендовавший себя ПНД, но для окончательного заключения необходимо провести ряд дополнительных исследований и испытаний.

Список источников

1. Анализ рынка маломерных моторных судов. URL: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-malomernyh-motornyh-sudov/> (дата обращения: 08.02.2024).
2. Sözen A. and Neşer G. High density polyethylene (hdpe) as a prominent marine small craft building material: opportunities and obstacles. The 25th symposium on theory and practice of shipbuilding, 2022, pp. 89–90.
3. Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) ПНД, HDPE: литьевой I-1561. URL: https://trade-pioneer.ru/catalog/element.php?ID=62_ (дата обращения: 08.02.2024).
4. Why HDPE Boat? URL: http://hdpeboat.com/why_hdpe.aspx (дата обращения: 08.02.2024).
5. Виды и конструкции лодок РИБ. URL: <https://avangard35.ru/vidy-i-konstrukcii-lodok-rib/> (дата обращения: 08.02.2024).
6. Химические свойства и применение поливинилхлорида. URL: <https://polimerinfo.com/polivinilhlorid/polivinilhlorid-cto-eto-takoe.html> (дата обращения: 08.02.2024).
7. Поливинилхлорид (ПВХ): основные свойства, область применения. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/38/> (дата обращения: 08.02.2024).
8. Когда и где используют жесткий ПВХ? URL: <https://andraus.ru/kogda-i-gde-ispolzuyut-zhyostkij-pvh/> (дата обращения: 08.02.2024).
9. Что такое ПВХ? URL: https://www.tbc-empire.ru/faq/faq_pvh/about_pvh/ (дата обращения: 08.02.2024).
10. Что такое ПВХ. Преимущества и недостатки. URL: <https://veka.ua/spravochnik/articles/windows/cto-takoe-pvkh-preimushchestva-i-nedostatki/> (дата обращения: 08.02.2024).
11. Overview of materials for PVC, Rigid Grade. URL: https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=69642362cb864d25b8f6eb9d02092ecf (дата обращения: 08.02.2024).
12. Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Extruded. URL: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=482765fad3b443169ec28fb6f9606660> (дата обращения: 08.02.2024).
13. Piyush K. Dutta and Uday Vaidya. A study of the long term applications of vinyl sheet pile. 2003, S. 91

14. Modulus of elasticity and Poisson's coefficient of polymeric materials. URL: <https://www.sonelastic.com/en/fundamentals/tables-of-materials-properties/polymers.html> (дата обращения: 08.02.2024).

15. Nitta Koh-hei and Masahiro Yam. Poisson's Ratio and Mechanical Nonlinearity Under Tensile Deformation in Crystalline Polymers. *Rheology*, 2012, 07 March, pp. 113–132.

16. Rigid PVC Plastic Extrusions. URL: <https://www.intekplastics.com/materials-guide/rigid-pvc/> (дата обращения 17.02.2024).

17. Rigid PVC characteristics & uses. URL: <https://www.pmcplastics.com/resources/engineered-resins/pvc-rigid/> (дата обращения: 17.02.2024).

18. Вреден ли ПВХ? Соответственно, вредна ли террасная доска из ДПК на основе ПВХ? URL: <https://www.savewood.ru/vreden-li-pvh/> (дата обращения: 17.02.2024).

19. Низамов Р. К., Нагуманова Э. И., Абдрахманова Л. А., Хозин В. Г. Поливинилхлоридные материалы, модифицированные термоэластопластами // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2006. № 1 (5). С. 8–11.

20. How to increase the cold resistance of PVC? URL: <http://en.pvcplastics.com.hk/index.php/news/show/aid/177.html> (дата обращения: 24.02.2024).

21. Проблемы при эксплуатации изделий из ПВХ, вызванные воздействием природных факторов. URL: <http://www.engplast.ru/blog.php?b=237> (дата обращения: 24.02.2024).

22. Стабилизаторы, HALS, УФ+ для полимерных материалов. URL: https://chemdirect.ru/polymer_stabilizatory_uv (дата обращения: 24.02.2024).

23. Gianluca Sarti. Developing and improving fire performance and safety in PVC. URL: https://www.researchgate.net/publication/358850647_Developing_and_improving_fire_performance_and_safety_in_PVC (дата обращения: 24.02.2024).

24. Coaker A., William M. Fire and flame retardants for PVC. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 2003, no. 9, pp.108–115.

25. Hussain R. K., Dagher H. F., & Khudadad R. R. Reducing Creep Rate of polypropylene's by Soaking Solid solutions of CaCO₃. *World Scientific News*, 2016, 49 (2), pp. 90–103.

26. Chauffoureaux J. C. Mechanical Properties of Rigid Polyvinyl Chloride, Effect of Fillers. *Pure and Applied Chemistry*, 1979, V. 51. N 5, P. 1123–1148.

References

1. Analiz rynku malomernykh motornykh sudov [Analysis of the market for small motor vessels]. Available at: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-malomernykh-motornykh-sudov/> (Accessed 8 February 2024).

2. Sözen A. and Neşer G. High density polyethylene (hdpe) as a prominent marine small craft building material: opportunities and obstacles. *The 25th symposium on theory and practice of shipbuilding*, 2022, pp. 89–90.

3. Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) PND, HDPE: лит'евый I-1561 [High density polyethylene (low pressure) HDPE, HDPE: injection molded I-1561].

Available at: https://trade-pioneer.ru/catalog/element.php?ID=62_ (Accessed 8 February 2024).

4. Why HDPE Boat? Available at: http://hdpeboat.com/why_hdpe.aspx (Accessed 8 February 2024).

5. Vidy i konstruktсии lodok RIB [Types and designs of RIB boats]. Available at: <https://avangard35.ru/vidy-i-konstrukcii-lodok-rib/> (Accessed 8 February 2024).

6. Khimicheskie svoystva i primeneniye polivinilkhlorida [Chemical properties and applications of polyvinyl chloride]. Available at: <https://polimerinfo.com/polivinilhlodid/polivinilhlodid-chto-eto-takoe.html> (Accessed 8 February 2024).

7. Polivinilkhlorid (PVKH): osnovnye svoystva, oblast' primeneniya [Polyvinyl chloride (PVC): basic properties, scope of application]. Available at: <https://plastinfo.ru/information/articles/38/> (Accessed 8 February 2024).

8. Kogda i gde ispol'zuyut zhestkiy PVKH [When and where is rigid PVC used]? Available at: <https://andraus.ru/kogda-i-gde-ispolzuyut-zhyostkij-pvh/> (Accessed 8 February 2024).

9. Chto takoe PVKH [What is PVC]? Available at: https://www.tbc-empire.ru/faq/faq_pvh/about_pvh/ (Accessed 8 February 2024).

10. Chto takoe PVKH. Preimushchestva i nedostatki [What is PVC. Advantages and disadvantages]. Available at: <https://veka.ua/spravochnik/articles/windows/chto-takoe-pvkh-preimushchestva-i-nedostatki/> (Accessed 8 February 2024).

11. Overview of materials for PVC, Rigid Grade. Available at: https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=69642362cb864d25b8f6eb9d02092ecf (Accessed 8 February 2024).

12. Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Extruded. Available at: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=482765fad3b443169ec28fb6f9606660> (Accessed 8 February 2024).

13. Piyush K. Dutta and Uday Vaidya. A study of the long term applications of vinyl sheet pile. 2003, p. 91

14. Modulus of elasticity and Poisson's coefficient of polymeric materials. Available at: <https://www.sonelastic.com/en/fundamentals/tables-of-materials-properties/polymers.html> (Accessed 8 February 2024).

15. Nitta Koh-hei, and Masahiro Yam. Poisson's Ratio and Mechanical Nonlinearity Under Tensile Deformation in Crystalline Polymers. *Rheology*, 2012, 07 March, pp. 113–132.

16. Rigid PVC Plastic Extrusions. Available at: <https://www.intekplastics.com/materials-guide/rigid-pvc/> (Accessed 17 February 2024).

17. Rigid PVC characteristics & uses. Available at: <https://www.pmcplastics.com/resources/engineered-resins/pvc-rigid/> (Accessed 17 February 2024).

18. Vreden li PVKH? Sootvetstvenno, vredna li terrasnaya doska iz DPK na osnove PVKH [Is PVC harmful? Accordingly, is PVC-based WPC decking board harmful?]? Available at: <https://www.savewood.ru/vreden-li-pvh/> (Accessed 17 February 2024).

19. Nizamov R. K., Nagumanova E. I., Abdrakhmanova L. A., Khozin V. G. Polivinilkhloridnye materialy, modifitsirovannye termoelastoplastami [Polyvinyl chloride

materials modified with thermoplastic elastomers]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2006, № 1 (5), pp. 8–11.

20. How to increase the cold resistance of PVC? Available at: <http://en.pvcplastics.com.hk/index.php/news/show/aid/177.html> (Accessed 24 February 2024).

21. Problemy pri ekspluatatsii izdeliy iz PVKH, vyzvannye vozdeystviem prirodnykh faktorov [Problems in the operation of PVC products caused by exposure to natural factors]. Available at: <http://www.engplast.ru/blog.php?b=237> (Accessed 24 February 2024).

22. Stabilizatory, HALS, UF+ dlya polimernykh materialov [Stabilizers, HALS, UV+ for polymer materials]. Available at: https://chemdirect.ru/polymer_stabilizatory_uv (Accessed 24 February 2024).

23. Gianluca Sarti. Developing and improving fire performance and safety in PVC. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358850647_Developing_and_improving_fire_performance_and_safety_in_PVC (Accessed 24 February 2024).

24. Coaker A., William M. Fire and flame retardants for PVC. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 2003, no. 9, pp.108–115.

25. Hussain R. K., Dagher H. F., & Khudadad R. R. Reducing Creep Rate of polypropylene's by Soaking Solid solutions of CaCO₃. *World Scientific News*, 2016, 49(2), pp. 90–103.

26. Chauffoureaux J. C. Mechanical Properties of Rigid Polyvinyl Chloride, Effect of Fillers. *Pure and Applied Chemistry*, 1979, vol. 51, no. 5, pp. 1123–1148.

Информация об авторе

Д. А. Романюта – главный конструктор конструкторского бюро Научно-исследовательского центра судостроения, аспирант кафедры судостроения, судоремонта и морской техники

Information about the author

D. A. Romanyuta – chief designer of the design bureau of the shipbuilding research center, graduate student of the department of Shipbuilding, ship repair and marine technology

Статья поступила в редакцию 15.04.2024; одобрена после рецензирования 16.04.2024; принята к публикации 17.04.2024.

The article was submitted 15.04.2024; approved after reviewing 16.04.2024; accepted for publication 17.04.2024.

Научная статья
УДК 621.316.11
DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-125-139

Повышение надежности распределительных сетей путем внедрения САВС и селективного АПВ

Егор Сергеевич Старостин^{1,2}

¹Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

²Россети «Янтарь», Калининград, Россия
starostin-es@list.ru

Аннотация. Ключевым вопросом исследования является оценка эффективности применения существующих мер автоматизации в электрических распределительных сетях с точки зрения надежности. Вопрос становится актуальным в связи с постоянным увеличением продолжительности линий электропередачи в распределительных сетях, что повышает вероятность повреждения и дальнейшего отключения линии от защит. Рассматриваются способы уменьшения времени, в течение которого происходит недоотпуск электроэнергии, путем применения таких средств автоматики, как селективное автоматическое повторное включение (САПВ) и система автоматического восстановления сети (САВС). В статье проведен расчет основных показателей надежности применения системы автоматического восстановления сети и селективного автоматического повторного включения на примере реального сетевого участка 15 кВ. В качестве объекта исследования выбран участок распределительной сети Калининградской области, включающий в себя две линии электропередачи. Расчеты проводились для трех вариантов конфигурации сети: участок сети в существующем виде без модернизации; участок сети при использовании только САВС; участок сети при совместном использовании САВС и САПВ. При определении индикативных показателей надежности использовалась методика Минэнерго РФ. Проведена сравнительная оценка показателей SAIDI, SAIFI и CAIDI для трех вышеописанных вариантов конфигурации сети. Внедрение предложенных мер по автоматизации сети обеспечивает значительное снижение средней продолжительности отключений и в меньшей степени средней частоты отключений линий электропередачи. Наибольший вклад в снижение индикативных показателей надежности вносит применение именно селективного АПВ. Таким образом, проведена оценка эффективности внедрения САВС и САПВ с целью приближения к целевым значениям индикативных показателей надежности электрической сети.

Ключевые слова: электрические распределительные сети, индикативные показатели надежности SAIDI и SAIFI, селективное автоматическое повторное включение, система автоматического восстановления сети, САВС, электроэнергетика.

Благодарности: автор благодарит Управление релейной защиты и автоматики АО «Россети «Янтарь»» за помощь в предоставлении исходных данных.

Для цитирования: Старостин Е. С. Повышение надежности распределительных сетей путем внедрения САВС и селективного АПВ // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 125-139. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-125-139.

Original article

Improving the reliability of distribution networks through the introduction of FLISR and selective ACR

Egor S. Starostin^{1,2}

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

²Rosseti «Yantar», Kaliningrad, Russia

starostin-es@list.ru

Abstract. The key issue of the study is to assess the effectiveness of the application of existing automation measures in electrical distribution networks in terms of reliability. The issue becomes relevant due to the constant increase in the duration of power transmission lines in distribution networks, which increases the likelihood of damage and further disconnection of the line from protections. The methods of reducing the time during which the under-discharge of electricity occurs are considered by using automation tools such as selective automatic re-activation and an automatic network restoration system (FLISR). The article calculates the main reliability indicators for the use of an automatic network restoration system and selective automatic re-activation using the example of a real 15 kV network section. A section of the distribution network of the Kaliningrad region, including two power transmission lines, was selected as the object of research. Calculations were carried out for three network configuration options: a section of the network in its existing form without modernization; a section of the network using only FLISR; a section of the network using FLISR and selective automatic re-activation system together. The Ministry of Energy's methodology was used to determine indicative reliability indicators. A comparative assessment of the SAIDI, SAIFI and CAIDI indicators was carried out for the three network configuration options described above. The implementation of the proposed network automation measures provides a significant reduction in the average duration of outages and, to a lesser extent, the average frequency of power line outages. The greatest contribution to the reduction of indicative reliability indicators is made by the use of selective automatic re-activation system. So, an assessment of the effectiveness of introducing FLISR and selective automatic reclosing has been carried out in order to achieve the target values for indicative indicators of the reliability of the electrical network.

Keywords: electrical distribution networks, indicative reliability indicators of SAIDI and SAIFI, selective automatic re-activation, system of automatic network recovery, FLISR, electric power industry.

Acknowledgments: the author is grateful to Department of Relay Protection and Automation of JSC "Rosseti Yantar" for their help in providing the source data.

For citation: Starostin E. S. Improving the reliability of distribution networks through the introduction of FLISR and selective ACR. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 125-139. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-125-139.

ВВЕДЕНИЕ

Электрические распределительные сети в Калининградской области служат для распределения электроэнергии от электрических подстанций 110 кВ до трансформаторных подстанций и потребителей электроэнергии. Сети обладают высокой, постоянно увеличивающейся, протяженностью: на территории Калининградской области с 2018 по 2022 г. протяженность воздушных линий электропередачи напряжением 6–15 кВ возросла с 5749,67 до 6514,67 км, кабельных линий 6–15 кВ – с 1809,73 до 2606,2 км [1]. В то же время общая протяженность по территории Российской Федерации линий электропередачи распределительных сетей, находящихся во владении ПАО «Россети», с 2016 по 2020 г. увеличилась с 2310 до 2390 тыс. км [2], а принадлежащих ПАО «ФСК ЕЭС» – с 140,3 до 149 тыс. км [3].

Увеличение протяженности линии электропередачи значительно снижает ее надежность в связи с возросшим риском повреждения. Основными причинами отключения линий электропередачи в распределительных сетях являются: повреждения первичного оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций; повреждение опор воздушных линий и сопутствующего оборудования; обрыв и пляска проводов; внешние факторы, в том числе замыкания и повреждения, вызванные контактом с деревьями и другой растительностью, и другие причины. Отключения ЛЭП из-за неустойчивых замыканий могут быть устранены с помощью автоматического повторного включения. Несмотря на то, что теоретически эффективность АПВ оценивается в 70–85 %, на практике в большинстве случаев она достигает около 40 % [4]. Тем не менее на кабельных линиях повреждения носят устойчивый характер и не способны к самоустранению. Повторное включение ЛЭП при устойчивом замыкании ведет к излишнему расходу ресурса коммутационных аппаратов, развитию повреждений кабельных проводников и другим негативным воздействиям на электрическое оборудование [5]. Следует отметить, что Правилами устройства электроустановок предусмотрена необходимость использования АПВ воздушных и кабельно-воздушных линий напряжением выше 1 кВ [6]. Таким образом, актуальным направлением развития существующих систем релейной защиты и автоматики линий распределительных сетей считается применение селективного автоматического повторного включения. Такой вид АПВ позволит провести повторное включение при повреждениях на воздушных участках смешанных линий и запретит повторное включение линии при повреждениях кабельных участков.

Помимо селективного автоматического повторного включения в настоящее время развитие систем РЗА совместно с автоматизацией систем управления технологическими процессами и работой диспетчерских служб послужило развитию систем автоматического восстановления сети (САВС) [7–9]. Данные системы, являясь сложным программно-техническим комплексом, позволяют эффективно определить аварийные участки распределительных сетей, локализовать их и вос-

становить электроснабжение максимально возможного числа потребителей в кратчайшие сроки с учетом множества различных факторов [7].

Таким образом, актуальным является вопрос об оценке эффективности применения селективного автоматического повторного включения и системы автоматического восстановления сети. Оценка эффективности предлагаемых решений в исследовании проводится на основании методики, установленной Минэнерго РФ [10]. Методикой выделяются следующие показатели надежности услуг: средняя продолжительность прекращения электроснабжения в системе (P_{saidi}) и средняя частота прекращения электроснабжения (P_{saifi}), приводятся формулы для расчета установленных показателей. В мировой практике также применяется индекс средней продолжительности отключений потребителя (P_{caidi}) [11]. Исследование позволит оценить эффективность применения предлагаемых мер в целом с точки зрения надежности и вклад каждого из решений в общее повышение надежности сети.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении исследования для анализа и оценки надежности предлагаемых решений по внедрению САВС и селективного АПВ, исходя из опыта эксплуатации были выбраны две смешанные линии электропередачи реально существующего сетевого участка Калининградской области, обеспечивающие наличие большого количества кабельных вставок. Структура рассматриваемых линий электропередачи представлена в табл. 1, схема модернизируемого участка сети – на рис. 1.

Таблица 1. Структура рассматриваемых линий электропередачи
 Table 1. Structure of the power transmission lines under consideration

Линия	Л1		Л2
	Участок 1	Участок 2	
Общая длина L , км	4,06	14,859	10,399
Общее количество запитанных ТП N_t , шт.	2	23	9

Основным предназначением системы автоматического восстановления сети является уменьшение времени простоя, т. е. сокращение времени восстановления электроснабжения при помощи автоматизации работы диспетчерской службы. Следуя из предложенного определения, использование такой системы не должно оказывать влияние на количество происходящих отключений в единицу времени, т. е. показатель P_{saifi} с применением САВС не изменяется. В то же время, САВС вследствие автоматизации локализации поврежденного участка позволяет значительно снизить время восстановления электроснабжения неповрежденных потребителей. Таким образом, следует, что использование САВС сопряжено с индикативными показателями только в части длительности прекращения электроснабжения (P_{saidi}) и не связано со средней периодичностью прекращения электроснабжения (P_{saifi}). В соответствии с методикой расчета индикативных

показателей надежности [10] показатель Π_{saidi} может быть определен исходя из следующего отношения:

$$\Pi_{saidi} = (\sum T_j \cdot N_j) / N_t, \quad (1)$$

где T_j – продолжительность отключения по времени, ч; N_j – численное количество точек поставки электроэнергии, попавших под прерывание электропитания, шт.; N_t – наибольшее значение количества точек поставки электроэнергии за годовой период, шт.

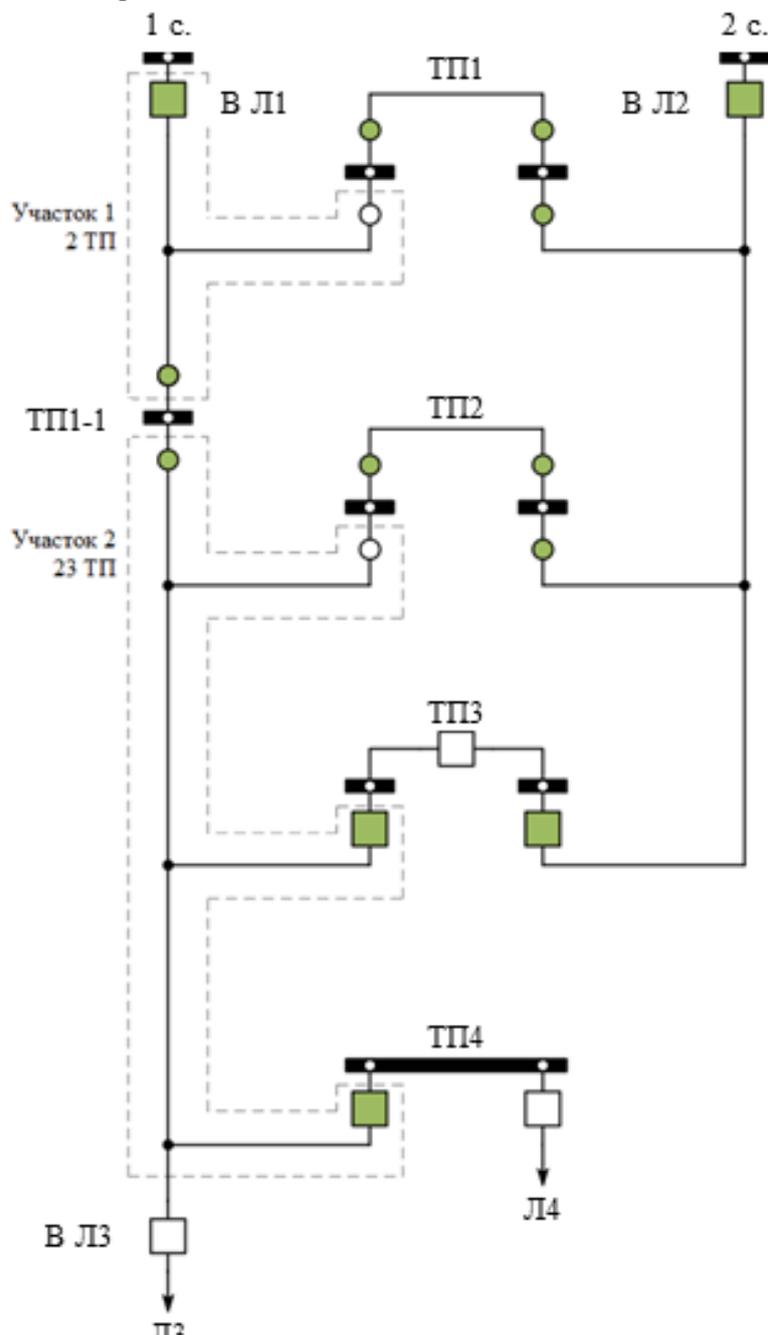


Рис. 1. Схема участка сети для расчета показателей надежности
 Fig. 1. A diagram of a network section for calculating reliability indicators

Длительность T_j может быть вычислена с помощью средней продолжительности восстановления определенного повреждения:

$$T_j = \omega_i \cdot T, \quad (2)$$

где T – средний показатель времени восстановления, ч; ω_i – среднее количество отключений на определенном участке за год, откл./год.

Значение среднего количества отключений ω_i может быть определено по выражению, с учетом статистических данных об удельной частоте повреждений ЛЭП:

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{ну}}) \cdot L_i, \quad (3)$$

где ω_0 – частота повреждений линии, отнесенная к 100 км линии, 1/год·км; $k_{\text{ну}}$ – коэффициент АПВ; L_i – суммарная протяженность участков линии, авария на которых создаст отключение рассматриваемого потребителя, км.

Выражение для определения значения удельной частоты повреждений линии ω_0 :

$$\omega_0 = n_{\text{откл}} \cdot 100 / L, \quad (4)$$

где $n_{\text{откл}}$ – количество прекращений электроснабжения на линии за промежуток времени, 1/год; L – длина этой линии, км.

По статистике ПАО «Россети» [12] показатель удельной частоты повреждений ω_0 в российских распределительных сетях напряжением от 6 до 20 кВ в среднем в год составляет около 30 отключений на 100 км ЛЭП. В соответствии со справочными данными [13] в табл. 2 представлены среднестатистические значения времени восстановления элементов распределительных сетей.

Таблица 2. Среднее время восстановления элементов распределительной сети
 Table 2. Recovery time of distribution network elements

№ п/п	Элемент сети	Среднее время восстановления элемента, ч
1	Силовой трансформатор	6
2	Силовой выключатель	10
3	ЛЭП	5
4	Линейный разъединитель	6

В настоящее время на линии Л1 АПВ не применяется. Тогда при внедрении селективного АПВ на Л1 изменится индикативный показатель надежности P_{saifi} , связанный с периодичностью прекращения электроснабжения потребителей. По Правилам устройства электроустановок [6] в электрических распределительных сетях требуется использовать один цикл АПВ. В соответствии со статистическими данными однократное АПВ на линии электропередачи снижает количество продолжительных отключений в среднем на 60 % [14]. Показатель P_{saifi}

находится в зависимости от значения среднего количества отключений на определенном участке ω_i :

$$P_{saifi} = \sum(\omega_i \cdot N_i) / N_t, \quad (5)$$

где ω_i – среднее количество отключений на определенном участке за год, откл./год; N_i – численное количество точек поставки электроэнергии, попавших под прерывание электроснабжения, шт.; N_t – максимальный показатель количества точек подачи электрической энергии за годовой период, шт.

Используемый в мировой практике, но не регламентированный отечественными НТД показатель средней продолжительности отключения среднестатистического потребителя P_{caidi} определяется как отношение показателей P_{saidi} и P_{saifi} :

$$P_{caidi} = P_{saidi} / P_{saifi} . \quad (6)$$

Показатель P_{caidi} в мировой практике рассматривается исключительно в совокупности с показателями P_{saidi} и P_{saifi} , поскольку снижение показателей P_{saidi} и P_{saifi} может привести как к росту, так и к снижению P_{caidi} . Таким образом, по тенденции изменения исключительно показателя P_{caidi} в одиночку нельзя судить об изменениях в бесперебойности электроснабжения.

С целью оценки эффективности предлагаемых решений в ходе исследования были рассмотрены три возможные конфигурации участка электрической распределительной сети, предусматривающие внедрение предложенных способов автоматизации в несколько этапов:

- 1) участок сети в текущем состоянии;
- 2) после внедрения на участке распределительной сети САВС;
- 3) после внедрения на участке распределительной сети селективного АПВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет показателей надежности для участка в текущем состоянии. На данный момент рассматриваемый участок распределительной сети состоит из двух ЛЭП, обозначенных на рис. 1 как Л1 и Л2. Длина прилегающей сети для ЛЭП составляет 18,919 и 10,399 км соответственно. При текущем устройстве сети повреждение любого участка любой из двух ЛЭП приведет к потере всех питаемых по линии потребителей на среднее время восстановления.

По выражению (3) значение периодичности отключений ω для линии электропередачи Л1 составляет:

$$\omega_i = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0) \cdot 18,919 = 5,676 \text{ откл./год.}$$

Коэффициент наличия АПВ $k_{\text{ну}}$ считается равным нулю, так как на выключателе линии функция АПВ не введена.

Аналогично по расчетам для линии электропередачи Л2 значение периодичности отключений ω составит:

$$\omega_i = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0,6) \cdot 10,399 = 1,248 \text{ откл./год.}$$

Для Л2 коэффициент $k_{\text{нУ}}$ принят равным 0,6 в связи с введенным многократным АПВ на головном выключателе, что позволяет снизить количество продолжительных прекращений электроснабжения на 60 % [14].

Значение длительности прекращений передачи электроэнергии T_j , определяемое по выражению (2), для линии Л1 составит:

$$T_j = 5,676 \cdot 6 = 34,054 \text{ ч/год.}$$

Таким же образом по расчетам для линии электропередачи Л2 значение T_j составит:

$$T_j = 1,248 \cdot 6 = 7,487 \text{ ч/год.}$$

Общее значение показателя Π_{saidi} на рассматриваемом участке распределительной сети может быть определено по выражению (1):

$$\Pi_{\text{saidi}} = (34,054 \cdot 25 + 7,487 \cdot 9) / (25 + 9) = 27,022 \text{ ч/год.}$$

Значение показателя $\Pi_{\text{sai fi}}$ на этом же участке сети возможно вычислить по выражению (5):

$$\Pi_{\text{sai fi}} = (5,676 \cdot 25 + 1,248 \cdot 9) / (25 + 9) = 4,504 \text{ откл./год.}$$

В соответствии с выражением (6) рассчитывается показатель Π_{caidi} :

$$\Pi_{\text{caidi}} = 27,022 / 4,504 = 6 \text{ ч/откл.}$$

Результаты расчетов показателей Π_{saidi} , $\Pi_{\text{sai fi}}$ и Π_{caidi} приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов показателей надежности для существующей сети
 Table 3. Calculation results of reliability indicators for the existing network

Параметр		Линия	
		Л1	Л2
Исходные значения	Общая длина L , км	18,919	10,399
	Общее количество запитанных ТП N_t , шт.	25	9
	Средний показатель времени восстановления T , ч	6	6
	Количество случаев прекращения электроснабжения потребителей ω за год, откл./год	5,676	1,248
	Продолжительность отключений T_j , ч/год	34,054	7,487
Расчетные значения	Π_{saidi} , ч/год	27,022	
	$\Pi_{\text{sai fi}}$, откл./год	4,504	
	Π_{caidi} , ч/откл.	6	

Расчет показателей надежности для участка после внедрения САВС.
 Согласно информации, опубликованной предприятиями, предоставляющими услуги по проектированию и внедрению в области САВС, примем время восстанов-

ления сети равным 2 минутам, учитывая время запаса [7]. В соответствии со схемой на рис. 1 участок сети, прилегающий к линии Л1, может быть представлен в виде двух участков: первый участок – от начала линии до ТП1-1, второй – после ТП1-1. Учитывая наличие САВС, при аварии на каком-либо из участков ЛЭП после первичного отключения целой ЛЭП алгоритм САВС за относительно короткий интервал времени, соразмерный минутам, локализует поврежденный участок и отделит его от сети, а неповрежденные участки при возможности будут вновь запитаны, электроснабжение потребителей возобновится за счет переключения коммутационных аппаратов. Так, повреждение на первом участке (до ТП1-1) приведет к потере электроснабжения 2 ТП на время, равное времени ремонта, и оставшихся 23 ТП на время, равное времени локализации и восстановления участка с помощью САВС. В случае повреждения второго участка (после ТП1-1) обратная ситуация: 2 ТП отключатся на время работы САВС, а 23 ТП будут отключены на время восстановления (до ликвидации повреждения).

Проведем расчеты для первого участка (до ТП1-1). Учитывая длину линии, в соответствии с табл. 1, найдем значение количества моментов прекращения электроснабжения потребителей за год ω_i по выражению (3):

$$\omega_i = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0) \cdot 4,06 = 1,218 \text{ откл./год.}$$

Средний показатель времени восстановления 2 ТП (N_1), потерявших питание на время восстановления, составит $T_{cp1} = 6$ ч. Время восстановления оставшихся 23 ТП (N_2), которые восстановятся автоматически, составит $T_{cp2} = 0,03$ ч. Тогда в соответствии с выражением (2) продолжительность прекращения передачи электроэнергии T_j будет равна:

$$T_1 = 1,218 \cdot 6 = 7,308 \text{ ч/год,}$$

$$T_2 = 1,218 \cdot 0,03 = 0,041 \text{ ч/год.}$$

По тем же аналитическим выражениям для второго участка (после ТП1-1):

$$\omega_i = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0) \cdot 14,859 = 4,458 \text{ откл./год.}$$

В случае аварийного отключения на втором участке распределение восстанавливаемых по времени подстанций инверсировано. Тогда для $N_3 = 23$ ТП, $N_4 = 2$ ТП длительность прекращения передачи электроэнергии T_j составит:

$$T_3 = 4,458 \cdot 6 = 26,746 \text{ ч/год,}$$

$$T_4 = 4,458 \cdot 0,03 = 0,149 \text{ ч/год.}$$

Для линии Л2 расчетные значения останутся аналогичными расчетам для сети с существующей конфигурацией в связи с тем, что секционирование сети фидера не произойдет в отличие от Л1. На основе полученных расчетных значений могут быть определены по выражениям (1) и (5) показатели Π_{saidi} и Π_{saifi} общего участка сети, учитывая САВС:

$$\Pi_{saidi} = \frac{7,308 \cdot 2 + 0,041 \cdot 23 + 26,746 \cdot 23 + 0,149 \cdot 2 + 7,487 \cdot 9}{25 + 9} = 20,541 \text{ ч/год,}$$

$$\Pi_{saifi} = \frac{1,218 \cdot 2 + 1,218 \cdot 23 + 4,458 \cdot 23 + 4,458 \cdot 2 + 1,248 \cdot 9}{25 + 9} = 4,504 \text{ откл./год.}$$

В соответствии с полученными значениями показателей P_{saidi} и P_{saifi} по выражению (6) может быть рассчитано значение индикативного показателя P_{caidi} :

$$P_{caidi} = 20,541/4,504 = 4,561 \text{ ч/откл.}$$

Полученные при расчетах индикативных показателей надежности P_{saidi} , P_{saifi} и P_{caidi} значения расчетных величин для случая устройства сети, учитывающего наличия САВС без селективного АПВ, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Расчетные значения показателей надежности для участка сети при использовании системы автоматического восстановления сети
 Table 4. Calculated values of reliability indicators for a network section when using an automatic network recovery system

Параметр		Линия		
		Л1		Л2
		Уч. 1	Уч. 2	
Исходные значения	Общая длина L , км	4,06	14,86	10,4
	Общее количество запитанных ТП N_t , шт.	2	23	9
	Средний показатель времени восстановления T , ч	6 (0,03)	6 (0,03)	6
	Количество моментов прекращения электроснабжения потребителей ω за год, откл./год	1,22	4,46	1,25
	Продолжительность отключений T_j , ч/год	7,31 (0,04)	26,75 (0,15)	7,49
Расчетные значения	P_{saidi} , ч/год	20,541		
	P_{saifi} , откл/год	4,504		
	P_{caidi} , ч/откл.	4,561		

Расчет показателей надежности для участка после внедрения САВС и селективного АПВ. В начальной конфигурации сети в связи со значительной протяженностью кабельных участков кабельно-воздушной линии Л1 применение АПВ на линии не предусмотрено. Внедрение селективного АПВ повлияет на оба рассчитываемых индикативных показателя P_{saidi} и P_{saifi} , поскольку его применение по статистическим данным позволит снизить количество длительных отключений потребителей электроэнергии на 60 % [14]. Тогда коэффициент k_{ny} , позволяющий учесть наличие функции АПВ и ее эффективность, в следующих расчетах примет значение, равное 0,6.

Аналогично ранее приведенным расчетам, но с учетом коэффициента АПВ $k_{ny} = 0,6$, были получены значения P_{saidi} и P_{saifi} , исходя из которых рассчитано значение P_{caidi} .

Результаты расчетов P_{saidi} , P_{saifi} и P_{caidi} для рассматриваемого участка сети при совместном использовании САВС и САПВ приведены в табл. 5.

Таблица 5. Расчетные значения показателей надежности модернизируемого участка сети при совместном использовании САВС и САПВ

Table 5. Calculated values of reliability indicators of the upgraded section of the network when using FLISR and selective automatic reclosing together

Параметр		Линия		
		Л1		Л2
		Уч. 1	Уч. 2	
Исходные значения	Общая длина L , км	4,06	14,86	10,40
	Общее количество запитанных ТП N_t , шт.	2	23	9
	Средний показатель времени восстановления T , ч	6	6	6
	Количество моментов прекращения электроснабжения потребителей ω за год, откл./год	0,49	1,78	1,25
	Продолжительность отключений T_j , ч/год	2,92	10,70	7,49
Расчетные значения	P_{saidi} , ч/год	9,404		
	P_{saifi} , откл./год	1,999		
	P_{caidi} , ч/откл.	4,724		

В табл. 6 обобщены результаты вычислений индикативных показателей надежности для рассмотренных вариантов переустройства участка распределительной сети.

Таблица 6. Результаты расчетов показателей SAIDI, SAIFI и CAIDI

Table 6. Results of calculations of SAIDI, SAIFI and CAIDI indicators

	P_{saidi} , ч/год	P_{saifi} , откл./год	P_{caidi} , ч/откл.
До осуществления модернизации	27,022	4,504	6,000
Одиночное применение САВС	20,541	4,504	4,561
Совместное применение САВС и САПВ	9,404	1,999	4,724
Целевые показатели ПАО «Россети» на 2030 г.	2,4	0,92	2,609

На рис. 2 в виде диаграммы показана динамика снижения вычисленных показателей надежности при различных вариантах устройства участка сети с учетом внедрения САВС и селективного АПВ по результатам расчетов, представленных в табл. 6. Также на рис. 2 отображены целевые значения показателей, установленные Концепцией ПАО «Россети» «Цифровая трансформация-2030»: для

показателя P_{saidi} целевое значение составляет 2,4 ч/год, для P_{saifi} – 0,92 откл./год [15].

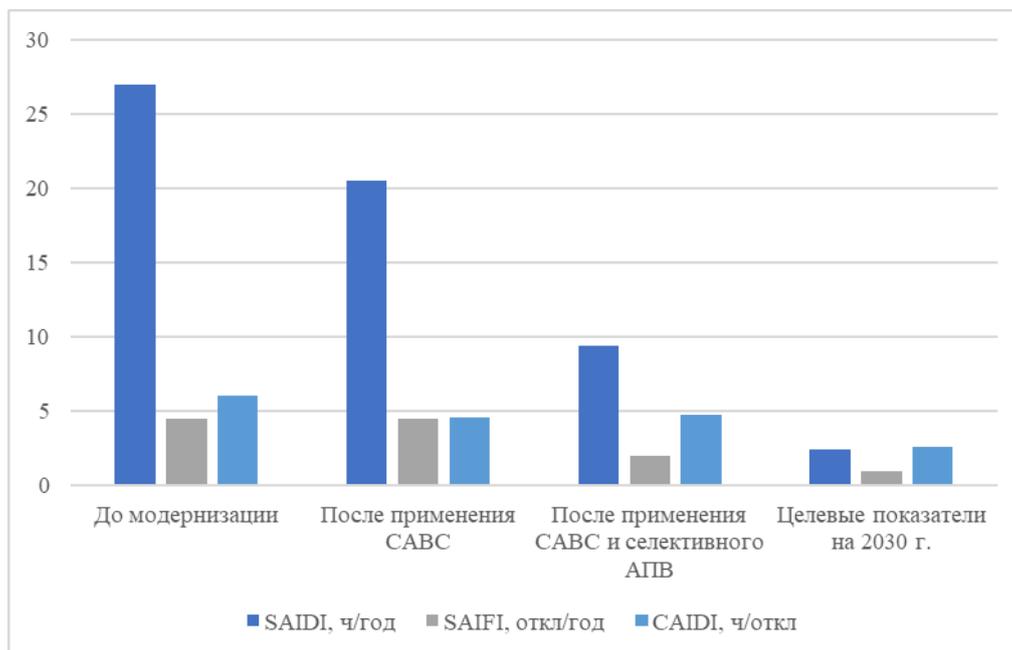


Рис. 2. Изменение показателей надежности в зависимости от степени модернизации участка сети в сравнении с целевыми показателями

Fig. 2. Changes in reliability indicators depending on the degree of modernization of the network section in comparison with the target indicators

При рассмотрении показателей динамики снижения становится ясно, что внедрение САВС оказывает влияние исключительно на показатель средней продолжительности прекращения электроснабжения P_{saidi} , а совместное использование САВС и селективного АПВ на данном участке распределительной сети позволяет добиться снижения обоих показателей P_{saidi} и P_{saifi} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере участка электрической распределительной сети исследование показало, что применение САВС является эффективной мерой повышения надежности распределительной сети: расчетное значение показателя P_{saidi} снизилось в 1,3 раза относительно значения для существующей конфигурации сети. Однако большее влияние на повышение надежности обеспечило использование селективного АПВ на смешанных линиях электропередачи: расчетное значение показателя P_{saidi} снизилось в 2,18 раза, P_{saifi} – в 2,25 раза. Совместное использование САВС и селективного АПВ позволило достигнуть снижения P_{saidi} в 2,87 раза и P_{saifi} в 2,25 раза соответственно в сравнении со значениями показателей участка сети до модернизации. В то же время конкретной тенденции в изменении показателя P_{caidi} , используемого в мировой практике, не выявлено, что вызвано зависимостью показателя от изменения показателей P_{saidi} и P_{saifi} относительно друг друга. Обращая внимание на цели, поставленные Концепцией ПАО «Россети» «Циф-

ровая трансформация-2030» [15], применения предложенных мер недостаточно для достижения целевых показателей на рассматриваемом малом участке сети, что вызвано изначально высокими значениями индикативных показателей надежности и ограниченностью рассматриваемого участка сети. Несмотря на этот факт, исследование показало эффективность использования САВС и селективного АПВ с целью повышения надежности электроснабжения в распределительных сетях среднего напряжения в кратном снижении показателей P_{saidi} и P_{saifi} . Таким образом, масштабирование технологий может рассматриваться как эффективная мера по улучшению показателей надежности распределительных сетей среднего напряжения и позволит приблизиться к целевым значениям P_{saidi} и P_{saifi} .

Список источников

1. О схеме и программе перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2022–2026 годы и признании утратившими силу отдельных решений Губернатора Калининградской области: Распоряжение Губернатора Калининградской области от 28.05.2021 № 19-р // URL: <https://infrastruktura.gov39.ru/activity/fuel.php> (дата обращения: 28.10.2023).
2. ПАО «Россети». Акционерам и инвесторам. URL: <https://old.rosseti.ru/investors/> (дата обращения: 28.10.2023).
3. ПАО «ФСК – Россети». Обзор компании. URL: https://old.fsk-ees.ru/shareholders_and_investors/company_overview/ (дата обращения: 28.10.2023).
4. Сорокин Н. С., Чаадаева Н. Н. Методика оценки надежности работы систем электроснабжения // Вестник строительства архитектуры. 2016. № 5. С. 127–130.
5. Беркович М. А., Гладышев В. А., Семенов В. А. Автоматика энергосистем. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.
6. Об утверждении глав Правил устройства электроустановок: приказ Министерства Энергетики Российской Федерации от 08.07.2002 № 204. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456072457> (дата обращения: 28.10.2023).
7. Инженерная компания ООО «Прософт-Системы». URL: <https://prosoftsystems.ru/> (дата обращения: 28.10.2023).
8. Сорокин Н. С. Повышение надежности работы электрических сетей напряжением 6–35 кВ с помощью системы контроля их параметров // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 4 (17). С. 28–32.
9. Фарраев А. И. Внедрение системы автоматического восстановления электроснабжения в сетях 6–20 кВ // Форум молодых ученых. 2023. № 6 (82). С. 412–415.
10. Об утверждении методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной «общероссийской» электрической сетью и территориальных сетевых организаций: Приказ Министерства Энергетики Российской Федерации от 29.11.2016 № 1256. URL: <https://base.garant.ru/71578114/> (дата обращения: 28.10.2023).
11. Кондрашова Н. В., Панина И. В., Попова Н. В. Понятия и оценка надежности и качества услуг территориальных электросетевых организаций // Современная экономика: проблемы и решения. 2017. № 2 (86). С. 187–203.

12. СТО 34.01-2.2-032-2017. Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ – секционированные пункты (реклоузеры). Введ. 14.11.2017. ПАО «Россети», 2017. 24 с.

13. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. Введ. 01.07.2008. Москва, 2007. 39 с.

14. Юнусов Х. Б. Анализ работы системы автоматического восстановления электроснабжения в распределительных сетях 6–20 кВ // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам» (16–17 апреля 2018 г.): сборник трудов конференции. Екатеринбург, 2018. С. 324–325.

15. ПАО «Россети». Цифровая трансформация-2030. URL: <https://rosseti.ru/sustainable-development/digital-transformation-2030/> (дата обращения: 12.01.2024).

References

1. O skheme i programme perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Kaliningradskoy oblasti na 2022–2026 gody i priznanii utrativshimi silu otdel'nykh resheniy Gubernatora Kaliningradskoy oblasti: Rasporyazhenie Gubernatora Kaliningradskoy oblasti ot 28.05.2021 № 19-r. Available at: <https://infrastruktura.gov39.ru/activity/fuel.php> (Accessed 28 October 2023).

2. ПАО «Россети». Акционерам и инвесторам [PJSC «Rosseti». To shareholders and investors], available at: <https://old.rosseti.ru/investors/> (Accessed 28 October 2023).

3. ПАО «FSK – Rosseti». Обзор компании [PJSC FGC – Rosseti. Company Overview]. Available at: https://old.fsk-ees.ru/shareholders_and_investors/company_overview/ (Accessed 28 October 2023).

4. Sorokin N. S., Chaadaeva N. N. Metodika otsenki nadezhnosti raboty sistem elektrosnabzheniya [Methodology for assessing the reliability of power supply systems]. *Vestnik stroitel'stva arkhitektury*, 2016, no. 5, pp. 127–130.

5. Berkovich M. A., Gladyshev V. A., Semenov V. A. *Avtomatika energosistem* [Automation of power systems]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991, 240 p.

6. Ob utverzhdenii glav Pravil ustroystva elektroustanovok. Prikaz Ministerstva Energetiki Rossiyskoy Federatsii ot 08.07.2002 № 204. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456072457> (Accessed 28 October 2023).

7. Inzhenernaya kompaniya OOO «Prosoft-Sistemy» [Engineering company Prosoft-Systems LLC]. Available at: <https://prosoftsystems.ru/> (Accessed 28 October 2023).

8. Sorokin N. S. Povyshenie nadezhnosti raboty elektricheskikh setey napryazheniem 6–35 kV s pomoshch'yu sistemy kontrolya ikh parametrov [Increasing the reliability of electrical networks with a voltage of 6–35 kV using a system for monitoring their parameters]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2017, no. 4 (17), pp. 28–32.

9. Farraev A. I. Vnedrenie sistemy avtomaticheskogo vosstanovleniya elektrosnabzheniya v setyakh 6–20 kV [Implementation of an automatic power supply restoration system in 6–20 kV networks]. *Forum molodykh uchenykh*, 2023, no. 6 (82), pp. 412–415.

10. Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po raschetu urovnya nadezhnosti i kachestva postavlyaemykh tovarov i okazyvaemykh uslug dlya organizatsii po upravle-

niyu edinoy natsional'noy «obshcherossiyskoy» elektricheskoy set'yu i territorial'nykh setevykh organizatsiy: Prikaz Ministerstva Energetiki Rossiyskoy Federatsii ot 29.11.2016 № 1256. Available at: <https://base.garant.ru/71578114/> (Accessed 28 October 2023).

11. Kondrashova N. V., Panina I. V., Popova N. V. Ponyatiya i otsenka nadezhnosti i kachestva uslug territorial'nykh elektrosetevykh organizatsiy [Understanding and evaluating the reliability and quality of services of territorial electric grid organizations]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2017, no. 2 (86), pp. 187–203.

12. Organization standard 34.01-2.2-032-2017. 6–35 kV linear switching equipment – sectioning points (reclosers). PJSC «Rosseti», 2017, 24 p. (In Russian).

13. State Standard R 52735-2007. Short circuits in electrical installations. Calculation methods in AC electrical installations with a voltage over 1 kV. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 39 p. (In Russian).

14. Yunusov Kh. B. Analiz raboty sistemy avtomaticheskogo vosstanovleniya elektrosnabzheniya v raspreditel'nykh setyakh 6–20 kV [Analysis of the operation of the automatic power supply restoration system in 6–20 kV distribution networks]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ural'skaya gornaya shkola – regionam» (16–17 aprelya 2018 g.)* [Proc. International Scientific and Practical Conference "Ural Mining School - regions" (16–17 April 2018)]. Ekaterinburg, 2018, pp. 324–325.

15. PAO «Rosseti». Tsifrovaya transformatsiya-2030 [PJSC «Rosseti». Digital transformation-2030]. Available at: URL: <https://rosseti.ru/sustainable-development/digital-transformation-2030/> (Accessed 28 October 2023).

Информация об авторе

Е. С. Старостин – аспирант кафедры энергетики, ведущий инженер Управления релейной защиты и автоматики АО «Россети “Янтарь”»

Information about the author

E. S. Starostin – postgraduate student of the energy department, lead engineer of relay protection and automation department of JSC "Rosseti Yantar"

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2024; принята к публикации 27.02.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 26.02.2024; accepted for publication 27.02.2024.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал бесплатно 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. Автор (авторы) несет ответственность за достоверность результатов исследования и гарантирует, что им не нарушены авторские права третьих лиц, что в тексте статьи нет некорректных или незаконных заимствований.

Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неприемлемы. Наличие заимствования без ссылки будет рассматриваться редакционным советом как плагиат.

Не разрешается дублирование публикаций. Направляя статью в журнал, автор подтверждает, что работа публикуется впервые. Если отдельные элементы рукописи были ранее опубликованы, автор обязан сослаться на более раннюю работу и указать отличия новой работы от предыдущей.

Нельзя присылать в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.

Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании, максимальное количество авторов, как правило, не более четырех.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи с соответствующей коммуникативной ценностью, научным стилем, языковыми и стилистическими нормами.

Научные статьи принимаются в редакцию в течение всего года, публикуются в порядке живой очереди по мере наполнения портфеля редакции. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи. Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются. Периодичность выхода журнала: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября.

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта, страницы не нумеруют;

– **экспертное заключение** о возможности открытого опубликования статьи (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук представлять не обязательно, так как каждая статья проходит двойное слепое рецензирование, рукопись рассматривается двумя независимыми экспертами. В случае отрицательной рецензии рукопись либо отклоняется, либо направляется автору для доработки и внесения изменений. После доработки статья снова отправляется на научное рецензирование тем же рецензентам. При наличии отрицательных рецензий на рукопись статьи от двух разных рецензентов или одной отрицательной рецензии на ее доработанный вариант автору направляется мотивированный отказ в публикации статьи. В случае положительной рецензии и рекомендации статьи к публикации она попадает в портфель принятых к публикации текстов.

Датой принятия статьи к публикации считается дата получения редакцией положительного заключения рецензента о целесообразности и возможности опубликования статьи. Статьи членов редсовета журнала проходят рецензирование в обычном порядке.

Объем статьи

Составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы, список литературы и информацию об авторах.

Компьютерный набор статьи

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал – одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc).

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.

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. 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 черно-белые и цветные четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. 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 читаемы и расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Таб. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (×). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида \bar{b} рекомендуется писать $\frac{a}{b}$.

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.

Структура статьи

ВВЕДЕНИЕ (по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст). Приводятся актуальность темы исследования, его цели и задачи, на их основе дается анализ полученных материалов, доказывающаяся целесообразность методологического подхода к рассматриваемым в статье проблемам.

Через один интервал **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, через один интервал текст). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание.

Материалы и методы исследования описываются кратко и конкретным образом. В разделе должны быть представлены объект исследования и все методы, использованные при его проведении, показаны их суть и обоснованный выбор. При необходимости приводить примеры ключевых исследований.

Результаты и их обсуждение: в разделе должны быть представлены основные результаты исследования, объективные, систематизированные и лаконичные данные с использованием текста, дополненного иллюстрациями. Автор(ы) показывает значимость или новизну исследования, акцентирует внимание на выявленных закономерностях, дает конкретные рекомендации.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст): представить кратко и информативно. В этом разделе формулируются полученные результаты и их новизна. Предложения и рекомендации должны подтвердить достижение целей и задач исследования. Следует указать возможность использования полученных результатов на практике и предложить направления дальнейших научных исследований.

Текст статьи

Должен соответствовать стилистическим, орфографическим и синтаксическим нормам русского языка. Содержание направляемой в журнал статьи, все цифровые данные и материалы должны быть тщательно выверены авторами. Низкое качество текста может быть основанием для отклонения статьи от публикации.

Составные части статьи и порядок их следования

1. Научная статья (слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

2. С новой строки индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) слева без отступа (прописными буквами, шрифт прямой, светлый, без двоеточия после букв, точка в конце не ставится).

3. С новой строки DOI (слева без отступа, прописными буквами, шрифт прямой, светлый точка в конце не ставится).

4. Через один интервал по центру **Название статьи** на русском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится, выравнивание по центру), должно быть кратким, но информативным.

При публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части. Пример:

Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия

5. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п. (слева без отступа, см. в образце оформления статьи ниже).

6. Через один интервал с отступом приводят слово **Аннотация** (полужирный курсив, в конце ставят точку). Текст аннотации дается в подбор, рекомендуемый объем 200–250 слов.

Представляет собой краткую характеристику текста с точки зрения его назначения, содержания, вида, формы и других особенностей. Она передает главную, ключевую идею текста до ознакомления с его полным содержанием. Научная аннотация условно делится на три части: 1. Презентация вопроса или проблемы, которым посвящена статья. 2. Описание хода исследования. 3. Выводы: итоги, которых удалось достичь в результате проведенного исследования.

Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки.

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° в английском варианте обозначают как «deg C».

7. С новой строки с отступом приводят **Ключевые слова** (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, в конце ставят точку).

8. С новой строки с отступом **Благодарности** (если есть) организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья (см. в образце оформления статьи ниже).

9. С новой строки с отступом могут быть приведены сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи с предшествующим словом **Финансирование:** (после слова ставят двоеточие).

10. С новой строки с отступом приводят библиографическую запись на статью **Для цитирования:** (см. в образце оформления статьи ниже).

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

11. Original article (через один интервал, слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

12. Через один интервал по центру **Название статьи** на английском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится, выравнивание по центру).

13. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) – имя и фамилию приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, до двух букв), см. в образце оформления статьи ниже.

14. Через один интервал с отступом **Abstract**. 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.

15. С новой строки с отступом **Keywords:** (полужирный курсив, в конце двоеточие), ключевые слова даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, в конце ставят точку).

16. С новой строки с отступом **Acknowledgments** (если есть), после слова ставят двоеточие.

17. С новой строки с отступом **Funding** (если есть), после слова ставят двоеточие.

18. С новой строки с отступом **For citation:** см. в образце оформления статьи ниже.

19. Через один интервал с отступом текст статьи, включающий в себя обязательные структурные элементы (см. структуру статьи).

Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы. Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7] (здесь тире), [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.

20. Через один интервал после текста статьи **Список источников** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Оформляется по ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в статье. Источники в списке литературы нумеруют и располагают в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

Требования к источникам:

- Не менее 15 источников, из них половина давностью менее 5 лет
- Процент самоцитирования не выше 10–20 %
- Зарубежные публикации, изданные в течение последних 5 лет

Рекомендуется включать ссылки на научные статьи, монографии, сборники статей, сборники конференций, электронные ресурсы с указанием даты обращения, патенты.

Не рекомендуется включать ссылки на учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ГОСТы и др. нормативные документы, на законы и постановления, а также на архивные документы (если все же необходимо указать такие источники, то они оформляются в виде сносок).

Нежелательны ссылки на диссертации и авторефераты диссертаций (такие ссылки допускаются, если результаты исследований еще не опубликованы, или не представлены достаточно подробно).

21. Через один интервал после списка источников **References** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Нумерация записей должна совпадать с нумерацией в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

References представляет собой транслитерированный список литературы. Транслитерируются только источники, написанные кириллицей; французские, немецкие, итальянские, польские и прочие источники не переводятся, а остаются в references неизменными.

Для выполнения транслитерации необходимо зайти на сайт <http://translit-online.ru/> и настроить перевод: *ë* → *yo*; *й* → *y*; *х* → *всегда kh*; *ц* → *ts*; *щ* → *shch*; *э* → *e*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки «:», «/» и «//» на точку или запятую; после транслитерации названия издательства добавить Publ.; вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*; исправить обозначение страниц: вместо 235 s. – 235 p., вместо S. 45–47 – pp. 45–47; курсивом выделить название источника и название журнала (образец оформления см. ниже).

22. Через один интервал дополнительные сведения об авторе (авторах), инициалы разделяют пробелом (слева без отступа, дублируют на английском языке: ученая степень, звание, должность и др. (см. в образце оформления статьи ниже).

23. Сведения о дате поступления рукописи в редакцию, дате одобрения после рецензирования и дате принятия статьи к опубликованию.

24. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (авторов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Образцы оформления списка источников

Монография

1. Агеев В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. 106 с.

2. Торилов В. Е., Мельникова О. В., Торилов В. В. Выращивание ярового ячменя на крупяные, пивоваренные и кормовые цели на юго-западе Центрального региона России: монография. Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. 90 с.

Книга

Книга одного – трех авторов

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.
2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.
3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.
4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.].

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.
2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.
2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.
3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

Отдельный том многотомного издания под общим заголовком

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

Глава из книги (сборника)

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение

врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.

Книги в интернете

Книги одного – трех авторов

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 15.12.2007).

Книги четырех и более авторов

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

Статья в журнале

Статья одного – трех авторов

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

Статья четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

Статья в электронном журнале

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.

2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // 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.

Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 Ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Darstellung und Testung von Polymerpharmaka // *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.

2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

Переводная книга

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: 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 / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

Электронный ресурс локального доступа

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Патентные документы

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.

Нормативные документы

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.
2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

Официальные документы

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.
2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.
3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.
4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

Образцы оформления References

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (Accessed 19 September 2008).
2. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskii chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. *Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel'* [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Нормативные документы

1. State Standard 8.586.5–2005. *Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Экология и региональная политика энергосбережения

Сергей Юрьевич Глазьев

Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, Зерноград, Россия, serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:

Александр Васильевич Попов^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена

Благодарности (если есть): автор выражает благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Ecology and regional energy conservation policy

Sergey Yu. Glaz'ev (транслитерация, см. п. 18 выше)

Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

Abstract.

Keywords:

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project № 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторе

С. Ю. Глазьев – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

Information about the author

S. Yu. Glaz'ev – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек

Владимир Викторович Вольчик¹, Игорь Михайлович Ширяев²

^{1,2}Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

Аннотация. В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

Ключевые слова: экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

Благодарности (если есть): авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом

море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps

Vladimir V. Volchik¹, Igor' M. Shiryaev² (транслитерация, см. п. 18 выше)

^{1,2}Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹volchik@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Abstract. To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

Keywords: economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps

For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторах

В. В. Вольчик – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология»

И. М. Ширяев – доктор социологических наук, профессор

Information about the authors

V. V. Volchik – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

I. M. Shiryayev – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

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.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,
цена свободная

Редактор С. В. Супрунова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Подписано в печать 27.04.2024. Выход в свет 01.05.2024. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 19,7. Уч.-изд. л. 12,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 24 .