

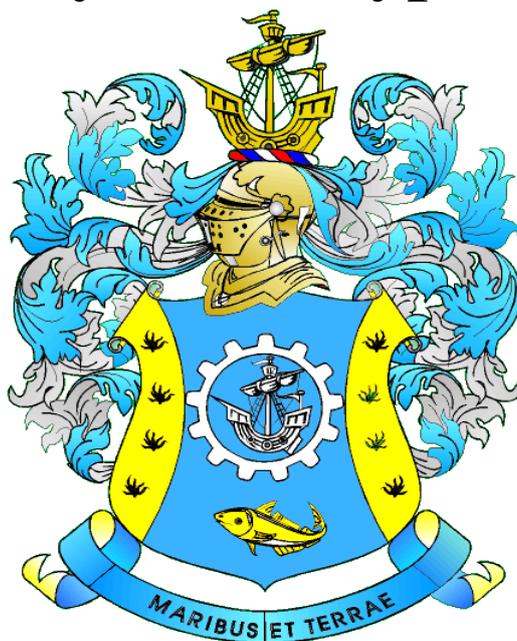
# ИЗВЕСТИЯ

## КГТУ 2022

### № 66

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 диссер-  
таций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание  
ученой степени доктора наук*

*Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)  
Agricultural Research Information System (Agris)*

**Калининград**

"Известия КГТУ"  
Учредитель: ФГБОУ ВО  
"Калининградский государственный  
технический университет"

Научный журнал  
Основан в 2002 г.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77- 47915 от 22 декабря 2011 г.

*Редакционный совет:*

*Главный редактор:* В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.  
*Зам. главного редактора:* Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

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

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

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

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

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

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

*А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера "Институт высоких технологий";

*Марек Якубовский*, д-р техн. наук, проф., Кошалинский технологический университет (Польша), профессор кафедры процессов и оборудования пищевой промышленности.

*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*, канд. с.-х. наук,  
доц.; *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. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. 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.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;  
*А. В. Иванов*, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, доц.;  
*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. Синявский*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;  
*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.;  
*С. В. Шibaев*, д-р биол. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

*Выпускающий редактор С. В. Супрунова*

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
2022





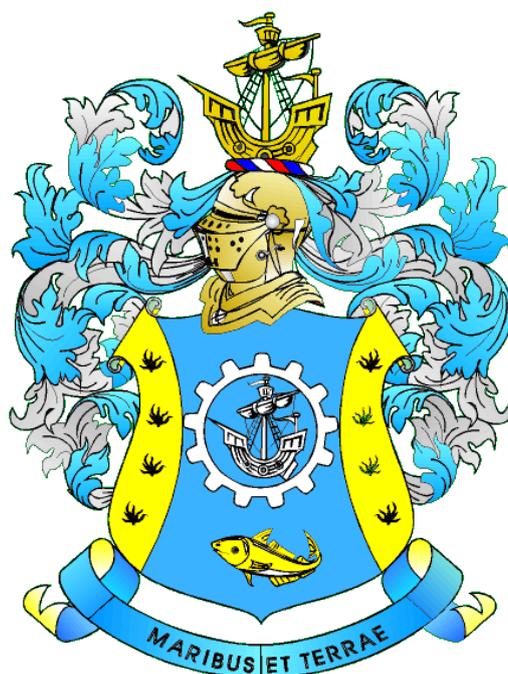
# KSTU NEWS

2022

№ 66

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>Бабинцев А. Ю., Суконнов А. В.</i> Оценка работоспособности промысловых схем .....	11
<i>Белых О. А.</i> Прогнозирование динамики лесных экосистем в условиях загрязнения промышленными аэровыбросами по состоянию травянистых растений .....	19
<i>Мартынов А. Н., Недоступ А. А.</i> Методика планирования эксперимента по исследованию статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа .....	30
<i>Мартынов А. Н., Недоступ А. А.</i> Экспериментальное исследование статического коэффициента трения рыболовных делей на барабане механизма фрикционного типа .....	40
<i>Ульрих Е. В., Баркова А. С.</i> Параметры флокуляции сточных вод с последующим фильтрованием на пресс-фильтрах .....	53

### **Техника и технология пищевых производств**

<i>Альшевский Д. Л., Карнеева Ф. С., Микита Е. В., Альшевская М. Н., Мاستюгин Ю. В.</i> Изучение влияния пищевых растительных компонентов на структурно-механические показатели фарша из мяса бобра речного ( <i>Castor fiber</i> ) ...	67
<i>Ахмедова Н. Р., Левичева О. И., Наумов В. А.</i> Критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами ....	78
<i>Воробьев В. И., Чернега О. П.</i> Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий .....	89
<i>Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А.</i> Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой .....	103
<i>Сукиасов В. Г., Серeda Н. А.</i> Динамический анализ базового механизма технологической машины .....	112

### **Судостроение, машиностроение и энергетика**

<i>Белей В. Ф., Брижак Р. О., Коротких К. В.</i> Результаты экспериментальных и расчетных исследований электромагнитных помех, генерируемых электрооборудованием судовых энергетических установок и их элементов с нелинейными характеристиками .....	129
<i>Витренко О. С., Воронцов И. Б., Сукиасов В. Г.</i> Исследование пятна контакта зубьев в зависимости от геометрии передачи .....	143
<i>Волкова Л. Ю., Дорош К. С.</i> Анализ образования оксидов азота в двуплывном двухтактном двигателе .....	153
<i>Гришин П. Р., Дятченко С. В., Сергеев Е. И.</i> Модернизация универсальной сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций корпусов судов .....	163

### **Экономика и управление АПК**

<i>Яфасов А. Я., Костенко Л. В.</i> Инновационно-инвестиционная политика развития экономики Калининградской области в новых условиях .....	175
--	-----

CONTENT

***Biology, ecology and fisheries***

<i>Babintsev A. Yu., Sukonnov A. V.</i> Performance evaluation of fishing schemes .....	11
<i>Belykh O. A.</i> Forecasting the dynamics of forest ecosystems in conditions of industrial emissions pollution by the state of herbaceous plants .....	19
<i>Martynov A. N., Nedostup A. A.</i> Method of planning experiment on study of the static coefficient of friction of a seine harness on a traction drum of a friction-type mechanism .....	30
<i>Martynov A. N., Nedostup A. A.</i> Experimental study of the static coefficient of friction of a fishing seine on the drum of a friction-type mechanism .....	40
<i>Ul'rikh E. V., Barkova A. S.</i> Parameters of wastewater flocculation with subsequent filtration on press filters .....	53

***Processes and technology of food manufacturing***

<i>Al'shevskiy D. L., Karneeva F. S., Mikshita E. V., Al'shevskaya M. N., Mastuygin Yu. V.</i> Study of the influence of food plant components on the structural and mechanical parameters of minced river beaver (Castor fiber) meat .....	67
<i>Akhmedova N. A., Levicheva O. I., Naumov V. A.</i> Similarity criteria of units for pumping low-viscosity food liquids by peripheral pumps .....	78
<i>Vorobyov V. I., Chernega O. P.</i> Application of vegetable raw materials with fish collagen in the production of small-piece bakery products .....	89
<i>Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A.</i> Study on the technology improvement of bakery products enriched with a fish protein-mineral additive .....	103
<i>Sukiasov V. G., Sereda N. A.</i> Dynamic analysis of the basic mechanism of a technological machine .....	112

***Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering***

<i>Beley V. F., Brizhak R. O., Korotkikh K. V.</i> Results of experimental and computational studies of electromagnetic interference generated by the electrical equipment of ship power facilities and their elements with non-linear characteristics ....	129
<i>Vitrenko O. S., Vorontsov I. B., Sukiasov V. G.</i> Study of tooth contact pattern depending on transmission geometry .....	143
<i>Volkova L. Yu., Dorosh K. S.</i> NO formation analysis in a dual fuel two stroke engine .....	153
<i>Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Sergeev E. I.</i> Modernization of universal assembly and welding fittings for making ship hull sections .....	163

***Economics and management of AIC***

<i>Yafasov A. Ya., Kostenko L. V.</i> Innovative and investment processes in the economy of the Kaliningrad region .....	175
--	-----

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



Научная статья  
УДК 639.2.061(06)  
DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-11-18

### Оценка работоспособности промысловых схем

Артем Юрьевич Бабинцев<sup>1</sup>, Анатолий Владимирович Суконнов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>babintsev.artem.1996@mail.ru

**Аннотация.** Рыболовные суда для механизации промысловых операций тралового лова имеют большое разнообразие промысловых схем и комплексов. Проектирование существующих схем проводится по прототипам, что служит причиной низкого уровня механизации рыбопромысловых операций, не превышающего 40 %. В свою очередь, значительная доля ручного труда приводит к увеличению непроизводительных затрат времени и, как следствие, неэффективности использования судов в промышленном рыболовстве. Как показывает практика, увеличение результативности работы судов возможно за счет повышения уровня механизации операций. С целью разработки методов проектирования и совершенствования промысловых схем была выполнена оценка эффективности уже существующих схем, где в качестве основополагающего критерия принят коэффициент механизации. Выбранный критерий представляет собой соотношение количества операций, осуществляемых механизированным путем, и общего количества промысловых операций, выполняемых при работе тралом. Одним из методов такой оценки является составление морфологических карт. Для проведения исследования выполнен обзор и анализ промысловых схем и комплексов для 22 рыболовных судов тралового лова, охватывающий траулеры с мощностью от 141 до 5148,6 кВт. После оценки эффективности этих судов были получены зависимости коэффициента механизации от мощности силовой установки и мощности промыслового оборудования, затрачиваемой на выполнение операций. Полученные зависимости позволяют оценить влияние мощностных показателей энергетических установок и оборудования на коэффициент механизации, что может послужить основой разработки методов проектирования промысловых схем для строящихся траулеров, а также совершенствования промысловых схем траулеров, применяющихся в эксплуатации.

**Ключевые слова:** траловый комплекс, промысловая операция, промысловая схема, механизация, коэффициент

**Для цитирования:** Бабинцев А. Ю., Суконнов А. В. Оценка работоспособности промысловых схем // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 11–18.

Original article

### Performance evaluation of fishing schemes

Artem Yu. Babintsev<sup>1</sup>, Anatoliy V. Sukonnov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>babintsev.artem.1996@mail.ru

**Abstract.** Fishing vessels for mechanization of trawl fishing operations have a wide variety of fishing schemes and complexes. Design of the existing schemes is carried out according to prototypes, which is the reason for the low level of mechanization of fishing operations, which does not exceed 40 %. In turn, a significant proportion of manual labor leads to an increase in unproductive time and, as a result, inefficient use of vessels in commercial fishing. As practice shows, an increase in the effectiveness of the work of courts is possible by increasing the level of mechanization of operations. In order to develop design methods and improve field schemes, an assessment of the effectiveness of the existing schemes has been carried out, where the mechanization coefficient is taken as a fundamental criterion. The selected criterion is the ratio of the number of operations carried out by mechanized means to the total number of fishing operations performed by the trawl. One of the methods for such an assessment is compilation of morphological maps. For the present study, a review and analysis of the fishing schemes and complexes for 22 trawl fishing vessels, covering trawlers with a power of 141 kW to 5148.6 kW has been carried out. After evaluating the effectiveness of these vessels, the dependences of the mechanization coefficient on the power of the power plant and the power of the fishing equipment spent on operations have been obtained. The dependencies obtained allow us to evaluate the influence of the power indicators of power plants and equipment on the mechanization coefficient, which can serve as the basis for the development of methods for designing fishing schemes for trawlers under construction, as well as improving the fishing schemes of trawlers used in operation.

**Keywords:** trawl complex, fishing operation, fishing scheme, mechanization, coefficient

**For citation:** Babintsev A. Yu., Sukonnov A. V. Performance evaluation of fishing schemes. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):11–18.(in Russ.).

### ВЕДЕНИЕ

На рыболовных траулерах все операции по спуску и подъему трала ведутся с помощью комплексов промыслового оборудования, установленных на них. Промысловые комплексы, обеспечивающие технику ведения рыболовного хозяйства, образуют рыбопромысловые схемы. От совершенства этих схем зависит продолжительность и трудоемкость выполнения промысловых операций.

На современном рыболовном флоте преимущественно применяются кормовые схемы траления [1]. Особенностью этих схем является тот факт, что поставка и выборка орудия лова осуществляются с кормы судна.

Промысловые операции тралового лова подразделяют на три группы. К первой относятся укладка трала в определенном порядке на рабочей палубе и подготовка его к выметке, выметка сетной части трала, травление кабелей, вклю-

чение траловых досок и травление ваеров до выхода трала на заданную глубину. Во вторую группу входит буксировка трала в заданном направлении с определенной скоростью. Третья группа включает в себя выборку канатно-сетной части при помощи лебедок [2].

Практика ведения тралового лова на рыболовных судах показывает низкий уровень механизации промысловых операций [3], который составляет 35–45 %.

Это, в свою очередь, связано с отсутствием методов совершенствования и проектирования высокомеханизированных промысловых комплексов и схем. До настоящего времени совершенствование промысловых схем ведется стихийным образом.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Как показывает практика, уровень механизации промысловых операций на траулерах не превышает 50 %. Это говорит о том, что большая часть рыбопромысловых операций, таких как присоединение грузов-углубителей и переходного конца к звену цепи траловой доски трехзвенки, отсоединение переходного конца от вытяжного и переходного – от звена цепи траловой доски трехзвенки, подключение стопорной цепи, подключение и отсоединение траловых досок и т. д., выполняется с применением ручного труда, что приводит к недоиспользованию производительных затрат времени на выполнение этих операций. В то же время снижается эффективность применения этих судов в промысловом варианте. Имеются различные технические решения, которые принимаются стихийным образом. Так, например, в некоторых схемах используют кабельно-сетные барабаны для выборки, выметки вытяжного конца, переходного конца, кабелей и голых концов трала. Однако такие решения выполняются необоснованно и, как правило, относятся к требованиям ведения техники лова.

Одним из способов разработки промысловых схем может служить метод морфологических карт. Он представляет собой последовательность выполнения рыбопромысловых операций с указанием рода осуществляемых работ и промысловых механизмов. Данная карта позволяет провести оценку эффективности и является одним из способов совершенствования промысловых схем, а также проектирования новых рыболовных траулеров. Кроме того, карта дает возможность определить основные направления совершенствования применяющихся промысловых схем.

На примере разбора операций промысловой схемы БМРТ пр. 1288, предназначенного для лова рыбы донным и разноглубинным тралами, можно убедиться в эффективности применения схем с кабельно-сетными барабанами (табл. 1, 2).

Таблица 1. Разбор операций постановки трала промысловой схемы БМРТ пр. 1288  
Table 1. Analysis of trawl setting operations of the BMRT fishing scheme of pr. 1288

№ п/п	Наименование операции	Тип операции	Механизм
1	2	3	4
Постановка трала			
1	Спуск тралового мешка в воду	Р\М	Турачка
2	Спуск канатно-сетной части	Самомет	
3	Травление голых концов	М	БСТ

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
4	Присоединение грузов-углубителей	Р	
5	Травление кабелей	М	БСТ
6	Присоединение лапок тр. доски	Р	
7	Травление переходного конца	М	БСТ
8	Отсоединение переходного конца от вытяжного	Р	
9	Присоединение переходного конца к звену цепи тр. доски трехзвенки	Р	
10	Выборка ваеров	М	Ваерная лебедка
11	Отсоединение стопорной цепи	Р	
12	Травление ваеров	М	Ваерная лебедка

Таблица 2. Разбор операций выборки трала промысловой схемы БМРТ пр. 1288  
 Table 2. Analysis of trawl hauling operations of the BMRT fishing scheme of pr. 1288

№ п/п	Наименование операции	Тип операции	Механизм
Выборка трала			
1	Выборка ваеров	М	Ваерная лебедка
2	Подключение стопорной цепи	Р	
3	Отсоединение переходного конца от звена трехзвенки	Р	
4	Присоединение переходного конца к вытяжному концу	Р	
5	Выборка вытяжного конца	М	Вытяжная лебедка
6	Отсоединение лапок тр. доски	Р	
7	Выборка голых концов и кабелей	М	Вытяжная лебедка
8	Отсоединение грузов-углубителей	Р	
9	Выборка кабелей, голых концов и частично крылья трала	М	Вытяжная лебедка
10	Выборка канатной части трала	М	БСТ
11	Выборка сетной части трала	М	БСТ

Для оценки эффективности и работоспособности промысловой схемы вводим критерий "коэффициент механизации".

Суммарный коэффициент механизации для процессов постановки и выборки трала определяем по следующей формуле:

$$K_0 = \frac{n_{\text{пост.}}}{n_{\text{общ. пост.}}} + \frac{n_{\text{выб.}}}{n_{\text{общ. выб.}}}, \quad (1)$$

где  $n_{\text{пост}}$  – количество механизированных операций для постановки трала;

$n_{\text{общ. пост}}$  – общее число операций для постановки трала;

$n_{\text{выб.}}$  – количество механизированных операций для выборки трала;

$n_{\text{общ. выб}}$  – общее число операций для выборки трала.

$$K_0 = \left(\frac{6}{13} + \frac{6}{11}\right)/2 = 0,5.$$

Доля ручного труда выполняемых промысловых операций составляет 50 %.

С целью установления влияния параметров системы судно-трал на коэффициент механизации анализу были подвержены 22 схемы рыболовных судов кормового траления, а именно: промыслово-производственный рефрижератор (ППР), морозильный рыболовный траулер (РТМ), средний рыболовный траулер морозильный (СРТМ), большой морозильный рыболовный траулер (БМРТ), большой автономный траулер (БАТ), морозильный траулер-сейнер (ТСМ) [4, 5].

Диапазон мощностей рассматриваемых траулеров составил от 141 до 5148,6 кВт.

Для проведения дальнейшего исследования расчетным путем получены значения коэффициентов механизации в зависимости от мощностных параметров траулеров и промыслового оборудования (табл. 3).

Таблица 3. Входные данные выборки

Table 3. Sample input data

Наименование судна	Мощность двигателя судна, кВт	Мощность оборудования, кВт	Коэффициент механизации
РТМ пр. «Гропик»	985,6	301,0	0,43
БМРТ пр. «Иван Бочков»	3824,7	1078,0	0,44
БМРТ пр. 394АМ	1471	491	0,44
БАТ пр. 1386 «Горизонт»	5148,6	1253	0,5
БМРТ пр. 394	1471	192	0,43
БМРТ пр. 394А	1471	176	0,43

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что коэффициент механизации для различных рыболовных судов находится в диапазоне от 43 до 50 %.

Для оценки влияния мощностных характеристик рыболовных судов на коэффициент механизации был построен соответствующий график, представленный на рис. 1.

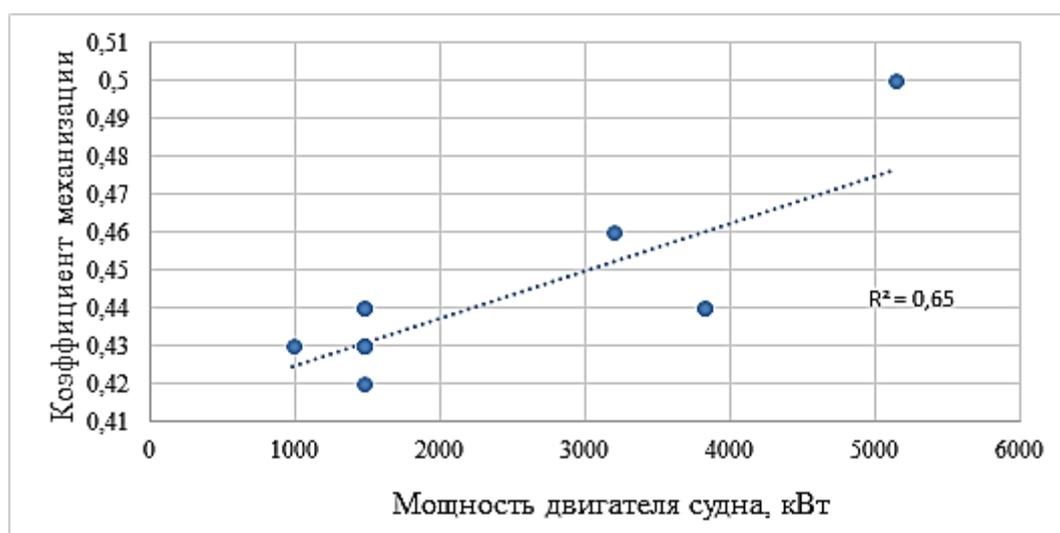


Рис. 1. Влияние мощностных характеристик траулеров на коэффициент механизации

Fig. 1. Influence of power characteristics of trawlers on mechanization coefficient

При помощи программы аппроксимацией была получена аналитическая зависимость коэффициента механизации от мощности силовой установки судна [6]:

$$K_1 = 10^{-5} \cdot N_{об.} + 0,41,$$

где  $K_1$  – коэффициент механизации от мощности силовой установки траулера;

$N_{об.}$  – мощность силовой установки траулера.

Зависимость показала, что мощность силовой установки линейно зависит от коэффициента механизации. С увеличением мощности двигателя судна на каждую 1000 кВт коэффициент механизации возрастает на 1 %.

Средняя ошибка аппроксимации для корреляции коэффициента механизации от мощности силовой установки траулера составила 1 %, что свидетельствует о ее адекватности [7].

Для оценки влияния мощности промышленного оборудования на коэффициент механизации был построен соответствующий график, представленный на рис. 2.

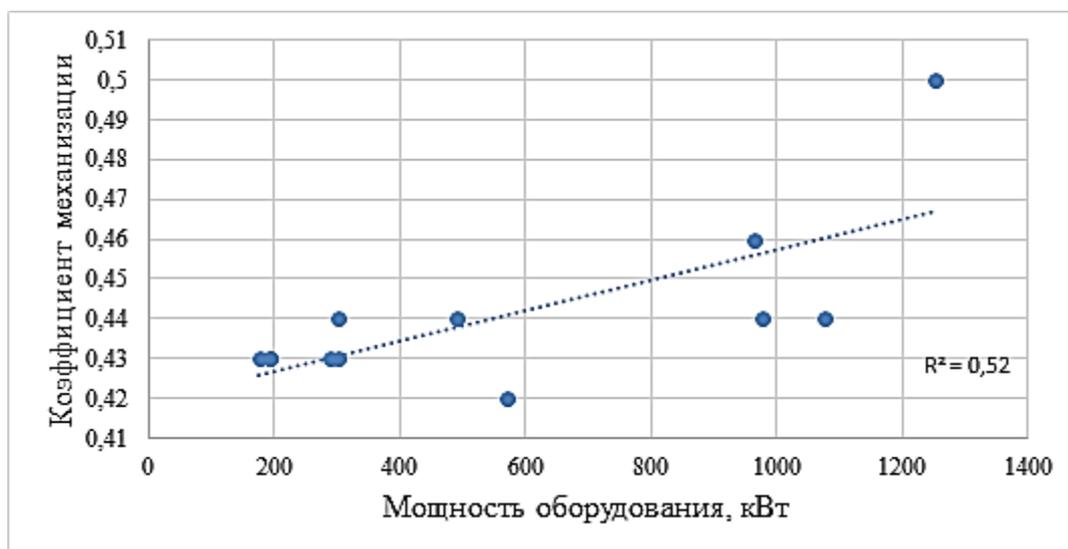


Рис. 2. Влияние мощностных характеристик оборудования траулеров на коэффициент механизации

Fig. 2. Influence of power characteristics of trawler equipment on mechanization coefficient

Аппроксимацией была получена следующая зависимость:

$$K_2 = 4 \cdot 10^{-5} \cdot N_{об.} + 0,41, \quad (3)$$

где  $K_2$  – коэффициент механизации от мощности оборудования траулера;

$N_{об.}$  – мощность оборудования траулера.

Зависимость показала, что мощность промышленного оборудования линейно зависит от коэффициента механизации. С увеличением мощности на каждые 200 кВт коэффициент механизации возрастает на 0,8 %.

Средняя ошибка аппроксимации для корреляции коэффициента механизации от мощности оборудования траулера составила 4 %, что свидетельствует о ее адекватности.

Таким образом, анализ показал первый приоритет влияния мощности оборудования на коэффициент механизации, а именно: при ее увеличении в 5 раз коэффициент механизации возрастает до 4 %, что превышает влияние мощности силовой установки траулера на 3 %.

Полученные зависимости в дальнейшем могут применяться как исходные данные для разработки методов проектирования промысловых схем при учете критерия механизации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод морфологических карт дает возможность оценить эффективность той или иной схемы на предмет работоспособности и действенности, где критерием является коэффициент механизации.

В результате проведенного исследования были определены зависимости, которые позволили оценить приоритет влияния факторов на коэффициент механизации. Полученные результаты являются базовыми при разработке методов проектирования промысловых схем и комплексов.

### Список источников

1. Рязанова Т. В. Судовое промысловое оборудование и его эксплуатация: монография. Керчь: Изд-во ФГБОУ ВО "КГМУ", 2019. 39 с.
2. Карпенко В. П., Торбан С. С. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства. Москва: Агропромиздат, 1990. С. 11–12.
3. Кудакаев В. В., Карпелев Т. П., Бойцов А. Н. Промысловые схемы и механизмы. Калининград: ФГБОУ ВО "КГТУ", 2019. 53 с.
4. Флот рыбной промышленности: справочник типовых судов / под ред. А. Б. Антипова. 3-е изд., доп. Москва: Транспорт, 1990. С. 6–94.
5. Флот рыбной промышленности. URL: [http://soviet-trawler.narod.ru/main\\_r/list\\_of\\_projects\\_ru.html](http://soviet-trawler.narod.ru/main_r/list_of_projects_ru.html) (дата обращения: 20.12.2021).
6. Коломиец Л. В., Поникарова Н. Ю. Метод наименьших квадратов: монография. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. С. 4–13.
7. Ковалева М. А., Волошин С. Б. Анализ данных. Москва: Мир науки, 2019. С. 30–35.

### References

1. Ryazanova T. V. *Sudovoe promyslovoe oborudovanie i ego ekspluatatsya* [Ship fishing equipment and its operation]. Kerch', KSMTU Publ., 2019, 39 p.
2. Karpenko V. P. *Mekhanizatsia i avtomatizatsia prozessov promyshlennogo rybolovstva* [Mechanization and automation of industrial fishing processes]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, pp. 11–12.
3. Kudakaev V. V. *Promyslovye skhemy i mekhanizmy* [Fishing schemes and mechanisms]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2019, 53 p.
4. Antipova A. B. *Flot rybnoy promyshlennosti: spravochnik tipovykh sudov* [Fishing industry fleet: reference book of typical vessels]. Moscow, Transport Publ., 1990, pp. 6–94.

5. *Flot rybnoy promyshlennosti* [Fishing industry fleet]. Available at: [http://soviet-trawler.narod.ru/main\\_r/list\\_of\\_projects\\_ru.html](http://soviet-trawler.narod.ru/main_r/list_of_projects_ru.html) (Accessed 20 December 2021).

6. Kolomiets L. V. *Metod naimen'shikh kvadratov* [Least squares method]. Samara, Samara University Publ., 2017, pp. 4–13.

7. Kovaleva M. A. *Analiz dannykh* [Data analysis]. Moscow, Mir nauki, 2019, pp. 30–35.

### **Информация об авторах**

**А. Ю. Бабинцев** – аспирант кафедры промышленного рыболовства

**А. В. Суконнов** – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства

### **Information about the authors**

**A. Yu. Babintsev** – graduate student of the Faculty of Industrial Fishing

**A. V. Sukonnov** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Industrial Fishing

Статья поступила в редакцию 13.05.2022; одобрена после рецензирования 25.05.2022; принята к публикации 20.07.2022

The article was submitted 13.05.2022; approved after reviewing 25.05.2022; accepted for publication 20.07.2022

Научная статья

УДК 57.087.1

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-19-29

### **Прогнозирование динамики лесных экосистем в условиях загрязнения промышленными аэровыбросами по состоянию травянистых растений**

**Ольга Александровна Белых**

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, boairk@mail.ru, ORCID 0000-0001-7274-1420

**Аннотация.** Статья посвящена фундаментальной проблеме биохимической экологии – установлению математических закономерностей, описывающих влияние техногенных поллютантов на сосудистые растения. У сотрудников лесного хозяйства, национальных парков и научных организаций лесного комплекса существует потребность подготовки прогнозов динамики лесных экосистем для научной и хозяйственной деятельности, принятия управленческих явлений. Загрязнение природных территорий вблизи промышленных предприятий Иркутской области связано с пылегазовыми выбросами, аккумулируемыми почвами и растениями уникального природного объекта оз. Байкал, находящегося под охраной ЮНЕСКО. Целью исследования является система взаимосвязей многолетних растений рода *Thalictrum*, чувствительных к изменению условий обитания в связи с произрастанием на территории с накопленным экологическим ущербом. В статье дана характеристика мест распространения маркерных растений. Приводятся сведения о содержании условно-токсичных элементов и описано их распределение в почвенных горизонтах промышленно загрязненных территорий Южного Прибайкалья. В работе доказывается возможность применения метода математического моделирования для выявления зависимости габитуса экологического маркера от условий влияния природно-техногенной среды. Представлена математическая модель, связывающая значимые экологические факторы промышленно загрязненных территорий, влияющие на развитие биоиндикаторных видов растений *Thalictrum minus* L. Используя полученный ряд уравнений, автор разработал экономичную методику, позволяющую учитывать минимальное число характеристик вида-биоиндикатора для прогнозирования состояния почвы и биоты в пределах загрязненной территории. Данная модель создана для проведения прогнозной оценки состояния лесных экосистем на примере Южного Прибайкалья рядом специалистов – биологами, экологами, лесниками.

**Ключевые слова:** экология, биоиндикация, микроэлементный состав, почвы, рентгенофлуоресцентный анализ, системный анализ, математическая модель

**Для цитирования:** Белых О. А. Прогнозирование динамики лесных экосистем в условиях загрязнения промышленными аэровыбросами по состоянию травянистых растений // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 19–29.

Original article

## Forecasting the dynamics of forest ecosystems in conditions of industrial emissions pollution by the state of herbaceous plants

**Olga A. Belykh**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, boa@mail.ru,  
ORCID 0000-0001-7274-1420

**Abstract.** The article is devoted to the fundamental problem of biochemical ecology – finding mathematical patterns that describe the effect of technogenic pollutants on vascular plants. In the activities of employees of forestry, national parks and scientific organizations of the forestry complex, there is a need to prepare forecasts of the forest ecosystems dynamics for scientific and economic activities and for the adoption of managerial phenomena. Pollution of natural areas near an industrial enterprises of the Irkutsk region is associated with dust and gas emissions from accumulated soils and plants of the unique natural object of Lake Baikal, which is under the protection of UNESCO. The object of the study is the system of interrelations of perennial plants of the genus *Thalictrum* sensitive to changes in habitat conditions due to growth in areas with accumulated environmental damage. The article describes the habitat conditions of marker plants. Information is given on the content of conditionally toxic elements in the soil horizons of industrially polluted territories of the Southern Baikal region. Distribution of these elements in soil horizons is described. The paper proves the possibility of using the method of mathematical modeling to identify the dependence of the habitus of an ecological marker on the conditions of influence of the natural and technogenic environment. A mathematical model is presented that relates significant environmental factors of industrially contaminated territories that affect the development of bioindicator plant species *Thalictrum minus* L. territory. This model was developed to carry out a predictive assessment of the state of forest ecosystems on the example of the Southern Baikal region by biologists, ecologists, and foresters.

**Keywords:** ecology, bioindication, trace element composition, soils, X-ray fluorescence analysis, system analysis, mathematical model

**For citation:** Belykh O. A. Forecasting the dynamics of forest ecosystems in conditions of industrial emissions pollution by the state of herbaceous plants. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):19–29.(in Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Информация о состоянии лесных экосистем в условиях техногенного загрязнения востребована для повышения эффективности мероприятий по охране биоты природных территорий, составлению экологического прогноза земель с накопленным ущербом и управлению действиями по социально-экономическому развитию регионов. Существует потребность подготовки прогнозов динамики уязвимых природных сообществ национальных парков и других особо охраняемых территорий для научной и хозяйственной деятельности. Для этого необходимо знание большого числа данных о признаках фитоценозов и математические средства. Таковой является задача многофакторного прогнозирования показате-

лей, характеризующих параметры развития экологически чувствительных травянистых многолетников, произрастающих в условиях загрязнения поллютантами [1].

Антропогенной трансформации растительного покрова посвящен целый ряд работ в отечественной и зарубежной литературе [2-5]. Актуальным является научно-прикладное использование биологических объектов в качестве индикаторов контроля состояния природной среды. Публикуется опыт применения низших и сосудистых растений для изучения поллютации промышленных территорий [6-8]. Практики утверждают, что сложно установить экспертную зависимость между повреждаемостью лесных экосистем и техногенным загрязнением, в связи с чем необходимо разрабатывать методики использования видов, чувствительных к аэропромышленным выбросам и накоплению повреждающих элементов в почве. Наиболее известными биоиндикационными методами являются оценки, выполненные для хвойных деревьев. Растения чувствительны ко многим промышленным загрязнителям, в связи с чем можно обоснованно связывать жизненное состояние особей с уровнем и характером загрязнения почвы, воды и воздуха и на этом основании использовать определенные виды в качестве биоиндикаторов оценки окружающей среды. Аэротехногенные выбросы оказывают влияние на особенности протекания физиологических реакций у растений, которые отражаются в их морфологическом строении, определяющем оценку степени загрязнения экосистемы: снижении габитуса (низкий уровень), уменьшении размеров вегетативных и генеративных органов (средний уровень), утрате генеративной функции (высокий уровень) [9].

Цель исследования заключается в разработке многофакторных механизмов оценки влияния экологических условий на биоиндикаторные виды с целью их использования для экологического прогноза динамики растительности природных территорий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве биоиндикатора в эксперименте был отобран василисник малый (*Thalictrum minus* L.) из семейства *Ranunculaceae* Juss, вид достаточно чувствительный к экологическому загрязнению. Лютиковые, являясь травянистыми поликарпиками мезофитной природы, часто служат создателями травяного покрова, в Южной Сибири распространены в мелколиственных, светлохвойных и смешанных лесах. Под пологом леса, на опушках и лесных редианах мезофитные виды встречаются с обилием sp, реже cop1, проективное покрытие вида, измеряемое сеточкой Раменского, составляет от 1 до 15 %. Корневище с мочкой придаточных корней располагается в верхних горизонтах почвы  $A_0-A_1$  до 15–20 см [10].

В качестве территорий с накопленной экологической нагрузкой были взяты окрестности вблизи г. Шелехова и Байкальска Иркутской области, в районе южного побережья оз. Байкал – объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. Основными градообразующими предприятиями и главными источниками эмиссий загрязняющих веществ в атмосферу являлись ОАО "Иркутский алюминиевый завод" и (до остановки производства в сентябре 2013 г.) ОАО "Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат". Пылегазовые выбросы последних распространялись вдоль побережья Байкала до 160 км к северо-востоку, попадая на территорию Байкальского заповедника, и до 40–50 км и более к западу, достигая г. Слюдянка и пос. Култук. Поднимаясь до

1500–1800 м вверх, эти выбросы распространялись по склонам хребта Хамар-Дабан и в долинах рек до верхней границы леса, а также по акватории Байкала, охватывая площадь более 2 тыс. км<sup>2</sup> [11]. Полевые исследования проводили на стационарах и маршрутным методом.

Аналитические исследования почвенных проб проведены в аккредитованной<sup>1</sup> лаборатории Института геохимии им А. П. Виноградова СО РАН. Определение элементного состава образцов выполняли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на волновом спектрофотометре "S4 Pioneer (Bruker, AXS)" [12] с рентгенооптической схемой по Соллеру, оснащенный рентгеновской трубкой с Rh-анодом мощностью 4 кВт. Для построения градуировочной характеристики и оценки правильности определения использовали государственные стандартные образцы почв, речных и донных осадков, илов и рыхлых отложений<sup>2</sup>.

Массивы многолетних данных анализировались одно- и многомерными статистическими методами [13,14] с помощью пакета компьютерных программ "Statistica 8". Для построения моделей использован регрессионный анализ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экологический прогноз будущего изменения состояния экосистемы в условиях промышленного загрязнения строится с применением математических моделей, описывающих влияние экологических факторов на формирование показателей системы или биоиндикаторов. При экологической оценке загрязнений природной территории использование биологических объектов часто дает более ценную информацию, чем прямая оценка загрязнения приборами, так как растения интегрально реагируют на весь комплекс поллютантов. Обладая генетической памятью в ряду поколений, многолетники своими реакциями отражают изменения за длительный период. В отечественной и зарубежной литературе имеется много сведений о том, что на параметры развития особей значительное влияние оказывают экологические факторы в зависимости от характеристик местообитания, фитоценотического окружения и степени антропогенного изменения характеристик территории [15]. Поэтому к исследованию данного процесса важно подходить с позиций системного анализа.

При оценке качества природной территории особое внимание уделяется содержанию токсичных элементов, представляющих наибольшую опасность для биоты. В литературе достаточно указаний на то, что уровень содержания тяжелых металлов в растениях зависит от наличия токсических веществ в почве [12]. Металлы при избыточном попадании в объекты окружающей среды ведут себя как токсиканты и экотоксиканты. Аэропромышленные выбросы оседают на растениях, попадают вместе с листовым отпадом и смываются осадками в почву, где успевают частично разбавиться водой до менее опасных концентраций, но при этом нарушить естественное функционирование лесного биоценоза. Таким образом, максимальное содержание токсичных элементов наблюдается в верхних слоях почвы, где растения посредством корневой системы получают воду и растворенные минеральные вещества, используемые для процессов фотосинтеза. Всего

---

<sup>1</sup> Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001. 513593.

<sup>2</sup> Арнаутов Н. В. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ: методические рекомендации. – Новосибирск: ИГиГ СО РАН АН СССР, 1087. – 204 с.

было определено методом рентгенофлуоресцентного анализа содержание 10 условно токсичных элементов, которое представлено в табл. 1.

Таблица 1. Содержание условно-токсичных элементов в почвенных горизонтах промышленно загрязненных территорий Южного Прибайкалья  
Table 1. Content of conditionally toxic elements in the soil horizons of industrially polluted territories of the Southern Baikal region

№ п/п	Координаты географического пункта	Горизонт	TiO <sub>2</sub> (%)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Rb (%)	Sr (%)	Zr (%)	Pb (%)	Ba (%)
1	N 52° 12.6125 E 104° 5.8437	A <sub>0</sub>	4,220	0,0013	0,0044	0,0060	0,0063	0,0034	0,0159	0,0188	0,0024	0,0319
		A <sub>1</sub>	4,211	0,0013	0,0044	0,0060	0,0063	0,0034	0,0159	0,0188	0,0024	0,0299
2	N 52°16.1813 E 104°11.3951	A <sub>0</sub>	4,263	0,0012	0,0041	0,0019	0,0056	0,0032	0,0192	0,0179	0,0023	0,0579
		A <sub>1</sub>	4,352	0,0011	0,0043	0,0018	0,0057	0,0033	0,0196	0,0187	0,0018	0,0596
3	N 51° 39.38 0 E 103° 43.1215	A <sub>0</sub>	5,312	0,0010	0,0049	0,0047	0,0096	0,0069	0,0210	0,0278	0,0022	0,0536
		A <sub>1</sub>	5,934	0,0010	0,0047	0,0050	0,0100	0,0050	0,0214	0,0285	0,0023	0,0519
4	N 51°54.4391 E 104.0566	A <sub>0</sub>	7,243	0,0023	0,0115	0,0072	0,0068	0,0039	0,0315	0,0189	0,0022	0,0537
		A <sub>1</sub>	7,365	0,0027	0,0113	0,0072	0,0077	0,0037	0,0326	0,0179	0,0018	0,0510
5	N 51° 47.023 E 104° 0.0470	A <sub>0</sub>	6,885	0,0024	0,0103	0,0047	0,0056	0,0041	0,0214	0,0293	0,0018	0,0668
		A <sub>1</sub>	7,234	0,0028	0,0105	0,0049	0,0057	0,0040	0,0219	0,0372	0,0021	0,0585
6	N 51° 49.094 E 104° 0.0465	A <sub>0</sub>	5,130	0,0021	0,0051	0,0037	0,0068	0,0032	0,0194	0,0186	0,0020	0,0349
		A <sub>1</sub>	6,738	0,0020	0,0061	0,0034	0,0077	0,0037	0,0196	0,0194	0,0017	0,0332
7	N 51°50.378 E 104°1.3737	A <sub>0</sub>	6,410	0,0018	0,0053	0,0039	0,0064	0,0053	0,0182	0,0243	0,0595	0,0593
		A <sub>1</sub>	6,312	0,0019	0,0051	0,0054	0,0067	0,0052	0,0173	0,0363	0,0585	0,0596
8	N 51°59.992, E 103°9'1892	A <sub>0</sub>	6,934	0,0020	0,0057	0,0041	0,0071	0,0059	0,0264	0,0323	0,0650	0,0519
		A <sub>1</sub>	6,934	0,0020	0,0057	0,0041	0,0071	0,0059	0,0264	0,0323	0,0649	0,0510

Распределение данных элементов в почвенных горизонтах A<sub>0</sub>–A<sub>1</sub> представлено следующим убывающим рядом: TiO<sub>2</sub> > Ba > Zr > Sr > Zn > Cu > Ni > Rb > Pb > Co. Группа элементов Rb, Cu, Pb характеризуется средней степенью доступности поглощения; Zn, Ba, Ti, Ni – трудно доступны растениям. Для определения влияния условно токсичных элементов на рост и развитие растений использовали их валовое содержание.

Система, характеризующая развитие растений, является сложной, так как содержит множество компонентов, находящихся в различных генотипических связях, и зависит от совокупности факторов, которые надо проанализировать с точки зрения их статистической значимости. Морфологические характеристики растений ряд авторов – А. А. Уранов, Н. В. Дылис – рассматривают как совокупный показатель состояния растения в фитоценозе и объединяют понятием "жизненность". При более детальных обследованиях определяют жизненность взвешиванием сухой массы всех особей данного вида с единицы площади отдельного фитоценоза, она служит мерой мощности ценотической популяции и зависит от числа особей на единицу площади. При оптимальной площади занимаемой популяцией все особи проходят регенеративные и генеративные фазы развития, обеспечивая процветание вида в фитоценозе. А. А. Уранов предложил оценивать жизненность популяции в баллах на основе учета проективного покрытия вида (в %). Эта шкала была дополнена показателями, характеризующими габитус отдельных растений в микрогруппировках или парцеллах растения-биоиндикатора. Здесь для анализа экологических факторов, влияющих на развитие анализируемых индикаторных признаков *Thalictrum minus* L., были рассмотрены:

- у<sub>1</sub> – высота стебля (см),
- у<sub>2</sub> – протяженность сложного листа (см),
- у<sub>3</sub> – ширина сложного листа (см),

$y_4$  – средний размер междоузлий (см),

$y_5$  – высота соцветия (см).

Использование математического моделирования позволит повысить эффективность оценки состояния территории с помощью травянистых многолетников и обеспечить достоверность продукционного прогноза.

Выбор факторов при построении модели множественной регрессии обычно происходит на основе качественного теоретико-экологического и статистического анализа тенденций изменения рассматриваемых процессов. В настоящей работе для прогнозирования экологического воздействия на биоту были рассмотрены модели множественной линейной регрессии и нелинейные степенные регрессионные.

На первом этапе анализа влияния экологической обстановки изучались следующие факторы местообитаний исследуемых ценопопуляций:

$x_1$  – высота местности над уровнем моря (м),

$x_2$  – площадь проективного покрытия вида (%),

$x_3$  – сомкнутость крон деревьев (%),

$x_4$  – валовое содержание почвенных поллютантов (%).

В работе были использованы характеристики реперных участков промышленно загрязненных территорий юга Иркутской области, смешанных и темнохвойных лесов Южного Прибайкалья, табл. 2.

Таблица 2. Фитоценотическая характеристика реперных участков промышленно загрязненных территорий юга Иркутской области

Table 2. Phytocenotic characteristics of reference sites of industrially polluted territories of the south of the Irkutsk region

№ п/п	Координаты географического пункта	Рельеф	Растительное сообщество	Состав древостоя	Сомкнутость крон	Вид природопользования
1	N 52° 12.6125, E 104° 5.8437	Ровный	Сосняк травянисто-кустарниковый	5С 2Б+Е 2Ос	0,4	Селитебная зона г. Шелехова
2	N 52° 16.1813, E 104° 11.3951	Первая терраса р. Б. Олха	Смешанный лес разнотравно-осоковый	4Б 4С+Е 2Ос	0,5	Олхинское плато пос. Олха
3	N 51° 39.38 E 103° 43.1215	Ровный	Кедрово-елово-пихтовый лес	7К 2Е П + Б К	0,8	Слюдянское лесничество
4	N 51° 54.4391, E 104.0566	Ровный	Пихтарник редкостойный	4П 3Е 3Б+Ол	0,6	Парковая зона г. Байкальска
5	N 51° 47.023, E 104° 0.0470	Склон 45° северной экспозиции	Кедрово-еловый лес разнотравный	6К 4Е+С 6Б	0,4	Эродированный склон лыжной трассы Соболиной
6	N 51° 49.094, E 104° 0.0465	Слабобугристый	Парковый лес папоротниково-разнотравный	8Б 2П 1К+Е	0,4	Селитебная зона г. Байкальска
7	N 51° 50.378, E 104° 1.3737	Слабозападинный	Техногенное редколесье	5Б 3Ос 2С+К	0,3	Шлакоотстойник
8	N 51° 59.992, E 103° 91892	Ровный	Техногенное редколесье	9Б 1К + П	0,3	Территория БЦБК

В настоящей работе проведен корреляционный анализ рассматриваемых показателей: высоты местности, площади проекции вида, сомкнутости крон древостоя и валового содержания поллютантов в почве (табл. 3). Нами определено, что между площадью проекции вида и валовым содержанием загрязнений выявляется сильная обратная зависимость. Для дальнейшего исследования необходимо исключить одну из переменных во избежание эффекта мультиколлинеарности. Очевидно, что, исключив площадь проекции вида ( $x_2$ ), мы все равно отслеживаем влияние этой переменной на морфологические свойства растения: чем больше почва накапливает тяжелых металлов, тем меньше относительная площадь проекции вида.

Таблица 3. Корреляционный анализ рассматриваемых факторов  
 Table 3. Correlation analysis of the factors under consideration

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
$X_1$	1			
$X_2$	-0,1642	1		
$X_3$	0,3425	-0,3231	1	
$X_4$	0,1135	-0,9537	0,4253	1

Следующим шагом были оценены показатели статистической зависимости и значимости между каждым из исследуемых индикационных признаков биоиндикатора ( $y_i$ ) и указанным составом регрессионных факторов местообитаний изучаемых ценопопуляций ( $x_i$ ). Полученные линейные модели с соответствующими МНК-оценками рассматриваемых регрессоров, учитывающие итоги корреляционного анализа, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Линейные модели зависимости габитуса растений от экологических условий местообитания ценопопуляций

Table 4. Linear models of plant habitus dependence on environmental factors of habitat

Параметры взаимосвязи ( $y_i$ )	Уравнение регрессии	Качество модели ( $R^2$ )	$P$ -значимость модели
Высота стебля, см	$y_1 = 259,93 - 0,03x_1 + 67,46 x_3 - 13,01 x_4$	0,94	0,07
Протяженность сложного листа, см	$y_2 = 57,72 - 0,006x_1 + 5,45 x_3 - 2,84 x_4$	0,87	0,15
Ширина сложного листа, см	$y_3 = 77,55 - 0,002 x_1 - 0,36 x_3 - 4,007 x_4$	0,98	0,006
Средний размер междоузлий, см	$y_4 = 44,95 - 0,01 x_1 + 16,79 x_3 - 2,54 x_4$	0,95	0,06
Высота соцветия, см	$y_5 = 109,97 - 0,02 x_1 + 8,03 x_3 - 6,34 x_4$	0,85	0,21

Из табл. 4 видно, что все построенные модели имеют высокий коэффициент детерминации  $R^2$ , т. е. качество моделей достаточно надежное, от 85 до 98 %, что свидетельствует об эффективной подстановке данных для всех групп василисников и валидности полученных моделей для прогнозирования изменения габитуса растений в зависимости от влияния поллютантов на густоту травостоя, сомкнутость крон, изменение элементного состава почвы. Малые значения  $p$ -значимости гарантируют верифицированность моделей и возможность прогноза

по ним. Так, если содержание условно токсичных элементов в почве ( $x_4$ ) увеличится на 1 % от своего среднего уровня, то габитус *Thalictrum minus* L. изменится следующим образом: высота стебля ( $y_1$ ) снизится на 13,01 %; длина сложного листа ( $y_2$ ) понизится на 2,84 %; ширина сложного листа ( $y_3$ ) станет меньше на 4,007 %; средний размер междоузлий ( $y_4$ ) уменьшится на 2,54 %; размер соцветия ( $y_5$ ) сократится на 6,34 % от своего среднего значения при неизменных других факторах. Эти данные говорят о том, что станут меньше не только размеры органов *Thalictrum minus* L., но и сократится его семенная продуктивность, благодаря которой вегетативно неподвижные виды удерживают место в фитоценозе. Таким образом, данная модель позволяет прогнозировать изменение габитуса растений в условиях изменения освещения при изреживании древостоя под влиянием аэротехногенного загрязнения.

Подытожим – для прогнозирования динамики состояния лесных фитоценозов в условиях прессинга промышленных аэровыбросов выполнено многофакторное прогнозирование с применением характеристик травянистых мезофитов в градиенте эколого-фитоценологических условий. Создана многофакторная модель оценки экологического состояния лесных экосистем в условиях техногенного загрязнения исходя из решаемой задачи, выбранных моделей и сведений экспертов, которая позволяет прогнозировать изменения содержания элементного состава почвы (условно токсичных элементов) и особенности развития биоты. Для этого достаточно проводить ежегодные маршрутные наблюдения в момент максимального развития растений, что соответствует фенологической фазе – полному цветению или началу плодоношения, а также фиксировать параметры развития вида-биоиндикатора, условия освещенности под пологом леса и густоту покрытия травостоя. Метод эффективен, не требует специального оборудования и реактивов, наличия ПК и программных средств, доступен для подготовленного пользователя (экологов, биологов, лесников).

Установленные закономерности изменения габитуса биоиндикаторного вида *Thalictrum minus* L. убедительно доказывают влияние условно накопленных токсичных элементов в верхнем гумусовом горизонте почвы. Предложенный метод экономичен, точен, не требует дорогостоящего оборудования. Полагаем, что методология математического моделирования станет прикладным инструментом для специалистов-биологов, экологов, лесного дела и туристического бизнеса в оценке и прогнозировании состояния лесных экосистем южной части оз. Байкал, являющегося объектом всемирного наследия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в промышленно загрязненных районах Южного Прибайкалья, позволили установить, что индикаторная реакция травянистых растений на поллютанты проявляется в понижении их жизненности и уменьшении показателей развития продуктивных признаков (высоты растения, размеров листа, развития генеративных органов, формирующих все элементы семенной продуктивности, отвечающие за присутствие вида в фитоценозе) у биоиндикаторных видов. Если наблюдается необратимое изменение ценопопуляции под действием промышленной поллютации, в итоге это может привести к ее старению и деградации. Такой тип динамики является сукцессивным. Описанные закономер-

ности могут выступать валидным критерием для экологической оценки и составления прогноза динамики биоты природных территорий. Изучение изменения состояния травянистых многолетников в условиях техногенного пресса промышленных территорий может служить аппроксимацией влияния экологических условий района на состояние лесных экосистем.

### Список источников

1. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Прикладные математика и физика" или по направлениям и специальностям в области естественных наук, техники и технологии, системного анализа и управления / А. В. Андрейчиков [и др.]. Изд. 2-е. Москва: ЛИБРОКОМ, 2012. 304 с.
2. Изучение морфологических признаков и флуктуирующей способности листового аппарата березы повислой // С. А. Кабанова [и др.] // Природообустройство. 2021. № 4. С. 116–122.
3. Phytotoxic effects of Cu, Cd and Zn on the seagrass *Thalassia hemprichii* and metal accumulation in plants growing in Xincun Bay, Hainan, China / Jin Zheng Xiao-Qian, Gu Tai-Jie, Zhang Hui-Hui, Liu Qiao-Jing, Ou Chang-Lian Peng // Ecotoxicology. 2018. Vol. 27. Issue 5. P. 517–526.
4. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geochemical survey / L. M. Filimonova, V. A. Bychinskiy, A. V. Parshin // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40. No. 10, P. 691–698.
5. Калугина О. В., Михайлова Т. А., Шергина О. В. Использование травянистых растений (*Chamaeneron fngustifolium* и *Tanacetum vulgare*) для мониторинга загрязнения территории фторсодержащими выбросами // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 309–316.
6. Ахмерова Д. Н., Шахринова Н. В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха по состоянию хвои сосны обыкновенной на территории города Бирск // Глобальный научный потенциал. 2018. № 6 (87). С. 69–71.
7. Дейнега Е. А., Савватеева О. А. Экспресс-контроль антропогенной трансформации городских экосистем методами биоиндикации хвойных пород // Фундаментальные исследования. 2012. № 5. С. 407–411.
8. Калугина О. В., Михайлова Т. А., Шергина О. В. Биохимическая адаптация сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) к техногенному загрязнению // Сибирский экологический журнал. 2018. Т. 25. № 1. С. 98–110.
9. Заугольнова Л. Б., Ханина Л. Г. Параметры мониторинга биоразнообразия лесов России на федеральном и региональном уровнях // Лесоведение. 2004. № 3. С. 3–14.
10. Конспект флоры Сибири. Сосудистые растения / под ред. К. С. Байкова. Новосибирск: Наука, 2005. 355 с.
11. Белых О. А., Чупарина Е. В., Мокрый А. В. Элементный состав хвои семейства сосновые (*Pinaceae*) на территории с накопленным экологическим ущербом, Южное Прибайкалье // Экологическая химия. 2020. Т. 29. № 4. С. 185–189.

12. Чупарина Е. В., Мартынов А. М. Применение неdestructивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66, № 4. С. 399–405.
13. Рогачева О. А. Статистика: учебное пособие. Иркутск: Изд-во БГУ, 2017. 148 с.
14. Паршин А. В., Руш Е. А., Спиридонов А. М. Автоматизация процесса экологического мониторинга озера Байкал с применением современных ГИС и WEB-технологий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 1 (29). С. 82–87.
15. Жмудь Е. В., Дорогина О. В., Ачимова А. А. Пластичность морфоструктуры побегов *Hedysarum hedysaroides* (Fabaceae) в различных эколого-географических условиях // Сибирский экологический журнал. 2018. Т. 25. № 2. С. 183–193.

### References

1. Andreychikov A. V. [i dr.]. *Sistemnyy analiz i sintez strategicheskikh resheniy v innovatike. Matematicheskie, evristicheskie i intellektual'nye metody sistemnogo analiza i sinteza innovatsiy: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po napravleniyu "Prikladnye matematika i fizika" ili po napravleniyam i spetsial'nostyam v oblasti estestvennykh nauk, tekhniki i tekhnologii, sistemnogo analiza i upravleniya* [System analysis and synthesis of strategic decisions in innovation. Mathematical, heuristic and intellectual methods of system analysis and synthesis of innovations]. Izd. 2-e. Moscow, LIBROKOM Publ., 2012, 304 p.
2. Kabanova S. A. [i dr.]. *Izuchenie morfologicheskikh priznakov i fluktuiruyushchey sposobnosti listovogo apparata berezy povisloy* [Study of morphological features and fluctuating ability of the leaf apparatus of the silver birch]. *Prirodobustroystvo*, 2021, no. 4, pp. 116–122.
3. Phytotoxic effects of Cu, Cd and Zn on the seagrass *Thalassia hemprichii* and metal accumulation in plants growing in Xincun Bay, Hainan, China. Jin Zheng Xiao-Qian, Gu Tai-Jie, Zhang Hui-Hui, Liu Qiao-Jing, Ou Chang-Lian Peng. *Ecotoxicology*, 2018, vol. 27, no. 5. pp. 517–526.
4. Filimonova L. M., Bychinskiy V. A., Parshin A. V. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geo-chemical survey. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2015, vol. 40, no. 10, pp. 691–698.
5. Kalugina O. V., Mikhaylova T. A., Shergina O. V. *Ispol'zovanie travyanistykh rasteniy (Chamaeneron fngustifolium i Tanacetum vulgare) dlya monitoringa zagryazneniya territorii ftorsoderzhashchimi vybrosami* [The use of herbaceous plants (*Chamaenerion angustifolium* and *Tanacetum vulgare*) for monitoring the pollution of the territory with fluorinated emissions]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no.1, pp 309–316.
6. Akhmerova D. N., Shakhrinova N. V. *Bioindikatsiya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha po sostoyaniyu khvoi sosny obyknovennoy na territorii goroda Birska* [Bioindication of atmospheric air pollution by the state of pine needles in the territory of the city of Birska]. *Global'nyy nauchnyy potentsial*, 2018, no. 6 (87), pp. 69–71.
7. Deynega E. A., Savvateeva O. A. *Ekspress-kontrol' antropogennoy transformatsii gorodskikh ekosistem metodami bioindikatsii khvoynykh porod* [Express control

of anthropogenic transformation of urban ecosystems by methods of bioindication of conifers]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 5, pp. 407–411.

8. Kalugina O. V., Mikhaylova T. A., Shergina O. V. Biokhimicheskaya adaptatsiya sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris*) k tekhnogennomu zagryazneniyu [Biochemical adaptation of Scots pine (*Pinus sylvestris*) to man-made pollution]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2018, vol. 25, no. 1, pp. 98–110.

9. Zaugol'nova L. B., Khanina L. G. Parametry monitoringa bioraznoobraziya lesov Rossii na federal'nom i regional'nom urovnyakh [Parameters of monitoring biodiversity of Russian forests at the federal and regional levels]. *Lesovedenie*, 2004, no. 3, pp. 3–14.

10. *Konspekt flory Sibiri. Sosudistye rasteniya* [Synopsis of the flora of Siberia. Vascular plants], pod red. Baykova K. S. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 355 p.

11. Belykh O. A., Chuparina E. V., Mokryy A. V. Elementnyy sostav khvoi semeystva sosnovye (Pinaceae) na territorii s nakoplyennym ekologicheskim ushcherbom, Yuzhnoe Priбайkal'e [The elemental composition of pine needles (*Pinaceae*) in the territory with accumulated environmental damage, Southern Baikal region]. *Ekologicheskaya khimiya*, 2020, vol. 29, no. 4, pp. 85–189.

12. Chuparina E. V., Martynov A. M. Primenenie nedestruktivnogo RFA dlya opredeleniya elementnogo sostava lekarstvennykh rasteniy [The use of non-destructive RF for determining the elemental composition of medicinal plants]. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2011, vol. 66, no. 4, pp. 399–405.

13. Rogacheva O. A. *Statistika: uchebnoe posobie* [Statistics: study guide]. Irkutsk, Baikal State University Publ., 2017, p. 148.

14. Parshin A. V., Rush E. A., Spiridonov A. M. Avtomatizatsiya protsessa ekologicheskogo monitoringa ozera Baykal s primeneniem sovremennykh GIS i WEB-tekhnologiy [Automation of the process of ecological monitoring of Lake Baikal using modern GIS and WEB technologies]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye*, 2011, no. 1 (29), pp. 82–87.

15. Zhmud' E. V., Dorogina O. V., Achimova A. A. Plastichnost' morfostruktury pobegov *Hedysarum hedysaroides* (Fabaceae) v razlichnykh ekologogeo-graficheskikh usloviyakh [Plasticity of morphostructure of *Hedysarum hedysaroides* B.Fedtsch. ((Fabaceae) shoots in various ecological and geographical conditions)]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2018, vol. 25, no. 2, pp. 83–193.

### Информация об авторе

**О. А. Белых** – доктор биологических наук, доцент

### Information about the author

**O. A. Belykh** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 15.07.2022; одобрена после рецензирования 18.07.2022; принята к публикации 19.07.2022

The article was submitted 15.07.2022; approved after reviewing 18.07.2022; accepted for publication 19.07.2022

Научная статья  
УДК 639.2.081  
DOI 10/46845/1997-3071-2022-66-30-39

**Методика планирования эксперимента по исследованию статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа**

**Алексей Николаевич Мартынов<sup>1</sup>, Александр Алексеевич Недоступ<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup> ajiex94@gmail.com

<sup>2</sup> nedostup@klgtu.ru

**Аннотация.** Статический коэффициент трения является основной характеристикой взаимодействия орудия рыболовства (ОР) с фрикционной машиной. Изменения могут приводить к скольжению ОР по поверхности барабана(-ов) машины, что влечет за собой негативные последствия, такие как изнашивание ОР, увеличение времени выборки, повышение энергозатрат и т. д. Существуют точные методы определения статического коэффициента трения только для канатопереводных изделий (КВИ). В статье представлены описание и планирование эксперимента по вычислению данного коэффициента в отношении дели. Чтобы соответствовать методикам для КВИ, опыты выполняются в лабораторных условиях. С целью проведения исследований были подготовлены образцы делей из трех различных материалов – полиамида (ПА), полипропилена (ПП), полиэфира (ПЭ) – одинакового диаметра (2 мм), которые будут взаимодействовать с тремя стальными барабанами различных диаметров (104, 128 и 152 мм). Также учитываются разные углы дуги контакта (90, 135 и 180 град). Чтобы реализовать данный эксперимент, силами кафедры промышленного рыболовства сконструирована специальная установка на основе тензостанции МС-200 и электродвигателя, который имитирует привод барабана неводовыборочного механизма. При помощи тензодатчика будет фиксироваться величина максимального натяжения набегающей ветви дели ( $S_1$ ) и построены графические зависимости  $S_1$  от времени проведения эксперимента ( $t$ ). Используя полученные данные, вычислим коэффициент трения двумя различными способами – классическим и по формуле Недоступа и Орлова. Далее будет происходить сравнение вычисленных результатов и сделаны соответствующие выводы.

**Ключевые слова:** статический коэффициент трения, дель, проскальзывание, трение, механизм фрикционного типа, эксперименты, натяжение, планирование, набегающая ветвь

**Для цитирования:** Мартынов А. Н., Недоступ А. А. Методика планирования эксперимента по исследованию статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 30–39.

Original article

### Method of planning experiment on study of the static coefficient of friction of a seine harness on a traction drum of a friction-type mechanism

Aleksey N. Martynov<sup>1</sup>, Aleksandr A. Nedostup<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kalinigrad, Russia

<sup>1</sup> ajiex94@gmail.com

<sup>2</sup> nedostup@klgtu.ru

**Abstract.** The static coefficient of friction is the main characteristic of the fishing gear (FG) interaction with the friction machines. Its changes can lead to sliding of the FG on the surface of the drum(-s) of a machine which leads to negative consequences, such as wear of the FG, increasing time for retrieving, increasing energy consumption, etc. Currently, there are precise methods for determining the static coefficient of friction only for thread-rope products (TRP). The article presents a description and planning of the experiment with seine to determine this coefficient in relation to the seine. Experiments have been performed in laboratory conditions to comply with the TRP methodology. To carry out the research, samples of seine have been prepared from three different materials (polyamide, polypropylene, polyester) of the same diameter (2 mm), which will interact with three steel drums of different diameters (104 mm, 128 mm, 152mm). In addition, different contact arc angles (90 deg, 135 deg, 180 deg) have been taken into account. To implement this experiment, a special installation based on the strain station MIC-200 and electric motor simulating the drive of the drum of seine-hauling mechanism has been designed by the Department of Industrial Fisheries. By means of strain gauge the value of the maximum tension of the seine incoming branch ( $S_1$ ) will be recorded and graphical dependences of  $S_1$  on the time of the experiment ( $t$ ) will be plotted. Using the obtained data, we calculate the coefficient of friction in two different ways, classical and by the formula of Nedostup and Orlov. Further, the calculated results will be compared and the corresponding conclusions will be drawn.

**Keywords:** static coefficient of friction, seine, slip, friction, friction-type mechanism, experiments, tension, planning, incoming branch

**For citation:** Martynov A. N., Nedostup A. A. Method of planning experiment on study of the static coefficient of friction of a seine harness on a traction drum of a friction-type mechanism. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):30–39.(In Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Зачастую на промысловых судах, где ОР служит невод, для его выборки применяются фрикционные механизмы. Базируется их работа на силе трения, за счет которой осуществляется взаимодействие ОР и механизма фрикционного типа (МФТ) без проскальзывания (скольжения), удержание ОР на поверхности барабана МФТ. При таком взаимодействии учитывается условие предварительного смещения (сдвигающая нагрузка не должна превышать неполную силу трения).

Н. Е. Жуковский изучал работу ременных передач, имеющих аналогичные с фрикционными механизмами условия взаимодействия. Во время исследований было выдвинуто предположение о разделении дуги контакта как бы на две части.

Первая – дуга скольжения ремня по поверхности блока. Вторая, которой и соответствует статический коэффициент трения, – дуга относительного покоя. В. И. Пожбелко [1], основываясь на этих предположениях, получил следующую формулу, согласующуюся с экспериментальными данными:

$$S_1 = S_2 e^{\mu(\alpha - 38,5d/D)}, \quad (1)$$

где  $S_1$  – натяжение набегающей ветви;  $S_2$  – натяжение сбегающей ветви;  $\mu$  – статический коэффициент трения;  $\alpha$  – угол дуги контакта;  $d$  – толщина гибкой связи (ремень, лента, канат и т. д.), охватывающей шкив;  $D$  – диаметр шкива.

Дуги покоя и скольжения, описанные Жуковским, были зафиксированы С. И. Полуляком [2]. В своих опытах по изучению фрикционного взаимодействия жгута дели и барабана он использовал лабораторные установки с применением метода электротензометрии.

В настоящее время экспериментальные исследования по изучению статических коэффициентов трения КВИ о поверхности барабанов МФТ проводятся на лабораторных установках. В данных опытных схемах происходит контакт образующей поверхности диска (барабана) и образца (нитки, веревки) сетематериала. Такое взаимодействие воспроизводит физику процесса трения, возникающего во время выборки ОР, и соответствует одному из рекомендованных И. В. Крагельским [3] методов по оценке фрикционных свойств материалов.

Им была представлена следующая формула для расчета коэффициента трения:

$$\mu = \frac{S_{1max} - S_2}{S_{1max} + S_2} = \left( \frac{S_{1max}}{S_2} - 1 \right) / \left( \frac{S_{1max}}{S_2} + 1 \right). \quad (2)$$

А. А. Недоступ и Е. К. Орлов провели ряд экспериментальных исследований по определению статических коэффициентов КВИ при угле обхвата барабана МФТ  $40^\circ \leq \alpha \leq 720^\circ$  [4].

На основании полученных данных ими выведена формула (3) для расчета коэффициента трения капроновых крученых КВИ по стальной поверхности МФТ с учетом дуги обхвата. Точность вычислений по ней составляет 95 %, что является достаточно высоким показателем.

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{(\xi_1 - 1)}{\alpha}}, \quad (3)$$

где  $\xi_1 = S_{1max}/S_2$  – напряжение в набегающей ветви;  $S_{1max}$  – максимальное значение натяжения в набегающей ветви жгута при отсутствии проскальзывания,  $\mu$  – коэффициент трения.

Эксперимент, описанный в этой работе, расширит представление об исследованиях, проделанных Недоступом и Орловым, в отношении жгутов делей, изготавливаемых из КВИ.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Коэффициент трения зависит от множества факторов. Это можно продемонстрировать следующей функцией:

$$\mu = f(N, d, D, S_1, S_2, l, \alpha, m, W_f, P, \rho, \rho_m, n, SZ, a, A, B, R, T, b_6, X_i), \quad (4)$$

где  $N$  – нагрузка на барабан МФТ;  $d$  – диаметр нити (веревки);  $D$  – диаметр шкива;  $S_1$  – натяжение набегающей ветви;  $S_2$  – натяжение сбегающей ветви;  $l$  – длина дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ;  $\alpha$  – угол дуги контакта;

$W_f$  – фактическая влажность;  $P$  – вес сухой дели;  $P_w$  – вес мокрой дели;  $\rho$  – плотность материала рабочей поверхности МФТ;  $\rho_m$  – плотность материала КВИ;  $n$  – коэффициент укрута КВИ;  $SZ$  – направление крутки;  $a$  – шаг ячеей;  $A$  – количество ячеей в дели в длину;  $B$  – количество ячеей в дели в высоту;  $R$  – тип узла вязки;  $T$  – поворот узла вязки;  $b_6$  – ширина жгута дели на барабане МФТ;  $X_i$  – конструкция барабана МФТ (диаметр шкива барабана, материал покрытия, фактура поверхности и т. д.).

Используя научный метод планирования экспериментов [5, 6], из всех предоставленных факторов были отобраны те, которые оказывают наибольшее влияние на коэффициент трения и которыми можно достаточно свободно управлять во время проведения экспериментов.

**$d/a$  – отношение диаметра нити к шагу ячеей.** Оно является одной из основных характеристик невода. Так же, при одинаковой высоте экспериментального образца, за счет изменения этого фактора будет изменяться диаметр жгута дели, а следовательно, и поверхность соприкосновения дели с барабаном МФТ. Анализ данных показал, что для кошельковых неводов  $d/a$  лежит в пределах 0,020–0,080 в зависимости от части невода (предсливные секции, сливные секции, секции крыла). Для опытов были выбраны следующие показатели:  $d/a_1 = 0,025$ ;  $d/a_2 = 0,050$ ;  $d/a_3 = 0,067$ .

**$\alpha$  – угол дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ.** Выборка орудий рыболовства механизмами фрикционного типа осуществляется в интервале угла охвата  $40^\circ \leq \alpha \leq 720^\circ$ . Для удобства проведения опытов были выбраны следующие показатели:  $\alpha_1 = 90^\circ$ ;  $\alpha_2 = 135^\circ$ ;  $\alpha_3 = 180^\circ$ .

Два этих фактора непосредственно воздействуют на величину площади контакта жгута дели с барабаном МФТ, которая образует поверхность сцепления и имеет огромное влияние на  $\mu$ .

**$D$  – диаметр стального барабана.** Конструкция барабана вместе с  $\alpha$  составляет главную характеристику работы промышленного неводоыборочного механизма –  $S_1/S_2$  (тяговая или фрикционная). Максимальное (предельное) значение  $S_1/S_2$  зависит в большей степени от барабана(-ов) фрикционной машины. Во время промысла достижение таких условий практически невозможно, поэтому количественный показатель тяговой характеристики МФТ может принимать разные значения из-за влияния различных факторов (количества рыбы, попавшей в невод; погодных условий, свойств самого невода и т. д.). Конструкция барабана (шкива) обуславливается такими показателями, как диаметр, материал покрытия, фактура поверхности, угол обхвата жгутом невода и т. д. Для проведения опытов будут взяты три стальных барабана с разными диаметрами:  $D_1=104$  мм;  $D_2 =128$  мм;  $D_3= 152$  мм.

Чтобы занести данные факторы в матрицу планирования, произведем кодирование табл. 1 для удобства использования матрицы [7].

Таблица 1. Кодирование факторов

Table 1. Factor coding

№ п/п	Наименование фактора	Обозначение фактора	Кодировка фактора	Нижний уровень фактора (-)	Средний уровень фактора (0)	Верхний уровень фактора (+)
1	Отношение диаметра нити к шагу ячеи	$d/a$	$x_1$	0,025	0,050	0,067
2	Угол дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ	$\alpha$	$x_2$	90	135	180
3	Диаметр стального барабана	$D$	$x_3$	104	128	152

В табл. 2 приведена матрица планирования экспериментов по определению коэффициента трения с учетом трех факторов ( $d/a$ ,  $\alpha$ ,  $D$ ) на трех разных уровнях.

Таблица 2. Матрица планирования экспериментов по определению  $\mu$

Table 2. Matrix for planning experiments to determine  $\mu$

№ п/п	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	2	3	4
1	+	+	+
2	0	+	+
3	-	+	+
4	+	0	+
5	0	0	+
6	-	0	+
7	+	-	+
8	0	-	+
9	-	-	+
10	+	+	0
11	0	+	0
12	-	+	0
13	+	0	0
14	0	0	0
15	-	0	0
16	+	-	0
17	0	-	0
18	-	-	0
19	+	+	-
20	0	+	-
21	-	+	-
22	+	0	-
23	0	0	-
24	-	0	-
25	+	-	-
26	0	-	-
27	-	-	-

Данная матрица планирования создана для проведения опытов с делью, изготовленной из материала одного типа. Для делей, сделанных из двух других материалов, необходимо будет провести подобные опыты, чтобы понять, как материал влияет на коэффициент трения.

### ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТУ

Экспериментальное исследование по изучению коэффициента трения будет проводиться с моделями делей, собранных в жгуты. Для этого в лабораторных условиях сконструирована специальная экспериментальная установка (рис. 1).

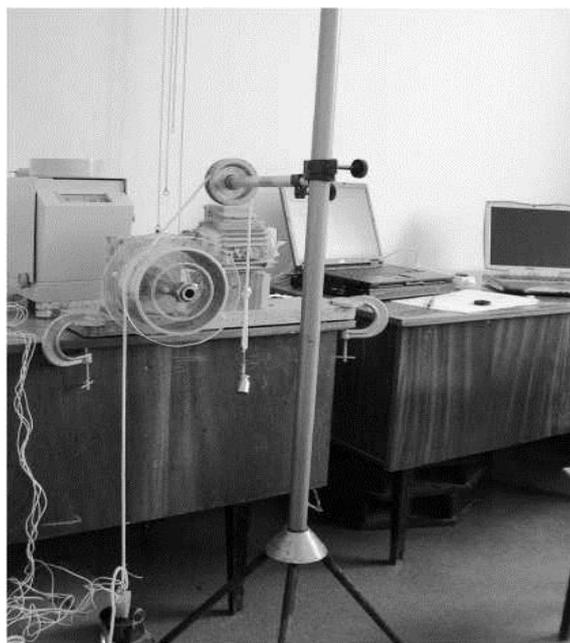


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки  
Fig. 1. General view of the experimental installation

Приводом установки является мотор-редуктор: асинхронный электродвигатель (мощность – 0,18 кВт; частота вращения – 1380 об/мин); червячный редуктор (передаточное отношение  $i = 53$ ; частота вращения тихоходного вала 26 об/мин). На тихоходный вал крепится барабан, на который могут быть установлены различные стальные втулки (диаметрами 27, 104, и 152 мм). Реборды барабана выполнены из оргстекла с нанесенной градуировкой на внешней стороне для контроля дуги контакта (от 0 до 180°). Кронштейн фиксируется на вертикальной стойке, на него крепится отводящий ролик (два подшипника качения, с помощью которых он закреплен, исключают влияние ролика на натяжение сбегающей ветви  $S_2$ ). Сочетание кронштейна и ролика позволяет изменять дугу контакта образца с поверхностью барабана (за счет их перемещения), так как образец также перекидывается через отводящий ролик. На перекинутую ветвь жгута дели крепится мерный груз. Тензостанция МІС-200 фиксирует показания с тензометрического датчика (предел измерения 98,2 Н), который измеряет натяжение набегающей ветви ( $S_1$ ). Преобразователь частоты ACS350-01E-02A4-2 (0,37 кВт, 220 В) с базовой панелью ACS-CP-C J404 управляет электродвигателем (диапазон регули-

ровки угловой скорости барабана  $0 < \omega < 0,43 \text{ с}^{-1}$ ). Дополнительно имеются весы для определения массы образцов (предел взвешивания 0,5 кг).

Эксперимент будет проводиться с несколькими элементами сетных полотен, изготовленными из КВИ различных материалов, приведенных в табл. 3. Для равных условий высота каждого элемента полотна одинакова (составляет 1 м). Количество ячеей для образцов рассчитано по формуле (5):

$$n=L/2a, \quad (5)$$

где  $n$  – количество ячеей в высоту;  $L$  – высота образца;  $a$  – шаг ячеей.

Таблица 3. Образцы ниток и веревок при фактической влажности  $W_f = 1,72 \%$

Table 3. Thread and rope samples at actual moisture  $W_f = 1,72 \%$

№ п/п	Материал	Вид	Номер образца	Диаметр $d$ , мм	Разрывная нагрузка $T_p$ , Н
1	Полиамид (капрон) ПА	Нитка крученая	1	2	833,6
2	Полиэфир (полиэстер) ПЭ	Нитка крученая	2	2	882,6
3	Полипропилен ПП	Нитка крученая	3	2	372,7

Параметры для образцов сетных полотен были подобраны в соответствии с существующими делами, применяемыми на промысле. Для проведения опытов в равных условиях каждый образец имеет массу 52,6 г. Во всех экспериментах приложена одинаковая масса на сбегющую ветвь (1006,5 г). Параметры сетных образцов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Параметры образцов

Table 4. Sample parameters

Номер образца	Материал	$d/a$	$a$
1	ПА	0,025	80
2	ПА	0,050	40
3	ПА	0,067	30
4	ПП	0,025	80
5	ПП	0,050	40
6	ПП	0,067	30
7	ПЭ	0,025	80
8	ПЭ	0,050	40
9	ПЭ	0,067	30

На рис. 2-4 можно видеть изображения изготовленных сетных образцов. Под номерами 1, 4, 7 они выполнены из ПА; 2, 5, 8 – из ПП; 3, 6, 9 – из ПЭ. Разная длина образцов не имеет значения, так как их масса одинакова. Главное было обеспечить перекрытие барабана экспериментальной установки при  $\alpha = 180^\circ$ .



Рис. 2. Образцы сетных полотен с шагом ячеи 30 мм  
Fig. 2. Samples of mesh webs with a mesh pitch of 30 mm



Рис. 3. Образцы сетных полотен с шагом ячеи 40 мм  
Fig. 3. Samples of mesh webs with a mesh pitch of 40 mm



Рис. 4. Образцы сетных полотен с шагом ячеи 80 мм  
Fig. 4. Samples of mesh webs with a mesh pitch of 80 mm

## ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

При помощи тензодатчика будет измеряться натяжение в набегающей ветви жгута  $S_1$ . Результаты измерений записываются тензостанцией в течение времени проведения эксперимента  $t$ . Данные действия будут повторяться для каждого образца сетного полотна. По результатам экспериментов мы должны получить и построить зависимости вида  $S_1 = f(t)$ , где фиксируется максимальное значение  $S_{1\max}$ .

Используя полученные данные, применим формулу (2) и выполним расчет коэффициента трения  $\mu$ .

Далее будет проведено сравнение результатов значений  $\mu$  по формуле (2) и формуле А. А. Недоступа и Е. К. Орлова (3), на основе которого мы сделаем выводы о возможной доработке формулы по определению коэффициента трения для неводной сети и наметим ход дальнейших исследований в области этих экспериментов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенной работе показывается зависимость коэффициента трения от огромного количества факторов (4), из которых методом планирования были отобраны те, что оказывают на него наибольшее влияние:  $d/a$  – отношение диаметра нити к шагу ячеи, который составляет главную характеристику дели;  $\alpha$  – угол контакта жгута дели с барабанов МФТ;  $D$  – диаметр стального барабана МФТ, два последних являются главной характеристикой барабана неводовыборочного механизма.

Также разработана методика проведения многофакторного эксперимента, позволяющая получить значения натяжения набегающей ветви ( $S_1$ ), величина которых зависит от сочетания выбранных факторов ( $d/a$ ;  $\alpha$ ;  $D$ ) и которые характеризуют показатель статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа.

## Список источников

1. Пожбелко В. И. Силовые закономерности упруго-деформируемой ременной передачи (новая постановка задачи Эйлера) // Проблемы машиностроения. 2000. № 3. С. 56–62.
2. Полуляк С. И. Исследование тяговых свойств рабочих органов неводовыборочных машин методом тензометрии // Рыбное хозяйство. 1966. № 3. С. 42–45.
3. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва: Машиностроение. 1977.
4. Недоступ А. А., Орлов Е. К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа // Трение и износ. 2010. Т. 31. № 4. С. 403–411.
5. Howard J. S. Experimental Design and Analysis. USA: 2018. 414 с.
6. Хамханов К. М. Основы планирования эксперимента: методическое пособие. Улан-Удэ, 2006. 94 с.
7. Холодов В. И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях. Симферополь: Н. Орианда, 2016. 196 с.

## References

1. Pozhbelko V. I. Silovye zakonomernosti upругo-deformiruemoy remennoy peredachi (novaya postanovka zadachi Eylera) [Power laws of elastic-deformable belt transmission (new formulation of the Euler problem)]. *Problemy mashinostroeniya*, 2000, no. 3, pp. 56–62.
2. Polulyak S. I. Issledovanie tyagovykh svoystv rabochikh organov nevodovyborochnykh mashin metodom tenzometrii [Investigation of the traction properties of the working parts of seine traction machines by the tensometric method]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1966, no. 3, pp. 42–45.
3. Kragel'skiy I. V., Dobychin M. N., Kombalov V. S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Fundamentals of friction and wear calculations]. Moscow, Mashinostroenie, 1977.
4. Nedostup A. A., Orlov E. K. Issledovanie staticheskogo koeffitsienta treniya rybolovnykh kanatno-verevochnykh izdeliy na barabane mekhanizma friktsionnogo tipa [Study of the static coefficient of friction of thread-rope products on the drum of a friction-type mechanism]. *Trenie i iznos*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 403–411.
5. Howard J. S. *Experimental Design and Analysis*. USA, 2018, 414 p.
6. Hamhanov K. M. *Osnovy planirovaniya eksperimenta: metodicheskoe posobie* [Planning of experiment basics: methodological guide]. Ulan-Ude, 2006, 94 p.
7. Kholodov V. I. *Planirovanie eksperimentov v gidrobiologicheskikh issledovaniyakh* [Planning of experiments in hydrobiological research]. Simferopol', N. Orianda Publ., 2016, 196 p.

## Информация об авторах

**А. Н. Мартынов** – аспирант кафедры промышленного рыболовства

**А. А. Недоступ** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

## Information about the authors

**A. N. Martynov** – Post-graduate student of the Department of Industrial Fisheries

**A. A. Nedostup** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries

Статья поступила в редакцию 29.11.2021; одобрена после рецензирования 13.12.2021; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 29.11.2021; approved after reviewing 13.12.2021; accepted for publication 15.07.2022

Научная статья  
УДК 621.891:639.2.081.117  
DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-40-52

### Экспериментальное исследование статического коэффициента трения рыболовных делей на барабане механизма фрикционного типа

Алексей Николаевич Мартынов<sup>1</sup>, Александр Алексеевич Недоступ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup> ajjex94@gmail.com

<sup>2</sup> nedostup@klgtu.ru

**Аннотация.** Промысловый лов неводом – один из самых распространенных видов лова рыбы (не считая траулера). При таком методе добычи рабочий процесс на судне состоит из нескольких операций, где наиболее трудоемкая и затратная по времени – это выборка невода. Для ее осуществления чаще всего применяются неводовыборочные машины фрикционного типа. Основным принцип работы данных механизмов основан на действии силы трения, за счет которой происходит зацепление между делью и барабаном фрикционной машины достаточной силы, чтобы произвести выборку орудия лова. Главным показателем этой силы является коэффициент трения. В статье представлены методика проведения и результаты экспериментальных исследований по определению данного коэффициента для рыболовных делей на барабане механизма фрикционного типа (МФТ). Описанные опыты основаны на предыдущей работе авторов, связанной с их планированием. Для выполнения экспериментов были изготовлены сетные образцы с заданными параметрами, соответствующие реальным неводам, применяемым на промысле. Каждый из них взаимодействовал с тремя стальными барабанами различных диаметров при разных углах дуги контакта. С помощью тензодатчика, подключенного к тензостанции "МКС-200", фиксировались значения натяжения набегающей ветви ( $S_1$ ) и строились графические зависимости  $S_1$  от времени эксперимента ( $t$ ). Чтобы определить поведение коэффициента трения относительно нормальной площади контакта ( $A_n$ ), используя полученные максимальные значения  $S_1$  ( $S_{1max}$ ) и ширину жгута дели на барабане ( $b_6$ ), строились графические зависимости  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$ . После этого были сделаны соответствующие выводы, и спланировано дальнейшее продолжение исследований.

**Ключевые слова:** коэффициент трения, дель, проскальзывание, трение, механизм фрикционного типа, эксперименты, натяжение, набегающая ветвь, ширина жгута дели, нормальная площадь контакта, угол дуги контакта

**Для цитирования:** Мартынов А. Н., Недоступ А. А. Экспериментальное исследование статического коэффициента трения рыболовных делей на барабане механизма фрикционного типа // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 40–52.

Original article

## Experimental study of the static coefficient of friction of a fishing seine on the drum of a friction-type mechanism

Alexey N. Martynov<sup>1</sup>, Aleksandr A. Nedostup<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kalinigrad, Russia

<sup>1</sup> ajjex94@gmail.com

<sup>2</sup> nedostup@klgtu.ru

**Abstract.** Seine fishing – one of the most popular type of fishing (except for trawler). With such method of fishing, working process on the vessel consists of several operations, where seine hauling is the most laborious and time-consuming. Seine-hauling friction-type machines are often used for this operation. The main principle of the operation of these mechanisms is based on the friction force, which is carried out by the clutch between seine and drum of friction machine of sufficient force to haul the fishing gear. The main index of this force is the friction coefficient. This article presents a methodology for conducting and the results of experimental studies on the determination of this coefficient for fishing seine on the drum of a friction-type mechanism. The experiments described here are based on the previous work of the author associated with their planning. Net samples with specified parameters corresponding to real seine applied to the fishing were made for the experiments. Each of them interacted with three steel drums of different diameters at different angles of contact arc. By means of strain-sensor connected to the strain-station "MIC-200" tension values of the incoming branch ( $S_1$ ) were fixed and graphic dependencies  $S_1$  from the time of experiment ( $t$ ) were built. To determine the behaviour of friction coefficient comparatively to normal contact area ( $A_n$ ), graphic dependencies  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  were built using the obtained maximum values  $S_1$  ( $S_{1max}$ ) and the width of seine bundle on the drum ( $b_6$ ). After that, the relevant conclusions have been made and the following research has been planned.

**Keywords:** coefficient of friction, seine, slip, friction, friction-type mechanism, experiments, tension, incoming branch, width of seine bundle, normal contact area, angle of contact arc

**For citation:** Martynov A. N., Nedostup A. A. Experimental study of the static coefficient of friction of a fishing seine on the drum of a friction-type mechanism. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):40–52.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Во время работы МФТ при помощи силы трения создается тянущее усилие, за счет которого происходит выборка орудия рыболовства (ОР). Главной ее характеристикой является статический коэффициент трения. С целью его определения существуют достаточно точные методики, применимые только для канатно-веревочных изделий (КВИ) [1–3]. Это обуславливает необходимость продолжения исследований по изучению данного параметра, но уже по отношению к дели.

В настоящей работе представлены результаты проведенных экспериментов, планирование которых описано в статье [4].

Коэффициент трения зависит от множества различных факторов, что можно описать функцией [5]:

$$\mu = f(N, d, D, S_1, S_2, l, \alpha, m, W_f, P, \rho, \rho_m, n, SZ, a, I, Y, R, T, b_6, X_i), \quad (1)$$

где  $N$  – нагрузка на барабан МФТ;  $d$  – диаметр нити (веревки);  $D$  – диаметр шкива;  $S_1$  – натяжение набегающей ветви;  $S_2$  – натяжение сбегающей ветви;  $l$  – длина дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ;  $\alpha$  – угол дуги контакта;  $W_f$  – фактическая влажность;  $P$  – вес сухой дели;  $P_w$  – вес мокрой дели;  $\rho$  – плотность материала рабочей поверхности МФТ;  $\rho_m$  – плотность материала КВИ;  $n$  – коэффициент укрута канато-веревочных изделий (КВИ);  $SZ$  – направление крутки;  $a$  – шаг ячеи;  $I$  – количество ячеей дели в длину;  $Y$  – количество ячеей дели в высоту;  $R$  – тип узла вязки;  $T$  – поворот узла вязки;  $b_6$  – ширина жгута дели на барабане МФТ,  $X_i$  – конструкция барабана МФТ (диаметр шкива барабана, материал покрытия, фактура поверхности и т. д.).

В упомянутой выше статье с помощью научного метода планирования экспериментов [6, 7] были отобраны три фактора (остальные остаются постоянными), которые оказывают наибольшее влияние на коэффициент трения и которыми можно достаточно свободно управлять в ходе проведения исследований:  $d/a$  – отношение диаметра нити к шагу ячеи;  $\alpha$  – угол дуги контакта жгута дели с барабаном (МФТ);  $D$  – диаметр стального барабана. Численные значения данных параметров представлены в табл. 1.

Таблица 1. Численные значения параметров отобранных факторов

Table 1. Numerical values of selected factors

№ п/п	Наименование фактора	Обозначение фактора	Нижнее значение фактора	Среднее значение фактора	Верхнее значение фактора
1	Отношение диаметра нити к шагу ячеи	$d/a$	0,025	0,050	0,067
2	Угол дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ	$\alpha$	90 град	135 град	180 град
3	Диаметр стального барабана	$D$	104 мм	128 мм	152 мм

Экспериментальные образцы были связаны собственноручно. Для изготовления элементов сетных полотен выбраны нити из трех различных материалов. Их характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики выбранных нитей

Table 2. Characteristics of selected threads

№ п/п	Материал	Диаметр d, мм	Разрывная нагрузка $T_p$ , Н	SZ
1	Полиамид (капрон) ПА	2	833,6	Z
2	Полиэфир (полиэстер) ПЭФ	2	882,6	Z
3	Полипропилен ПП	2	372,7	Z

Каждая дель составляет 1 м в высоту. Чтобы соблюсти данное условие, количество ячеей считалось по формуле (2). Узел вязки для каждого образца был одинаковый (двойной шкотовый).

$$n = L/2a, \quad (2)$$

где  $n$  – количество ячеей в высоту;  $L$  – высота образца;  $a$  – шаг ячеей.

Параметры элементов сетных полотен соответствуют реальным делям, применяемым на промысле, и были взяты из различных справочных материалов по промышленным орудиям лова. В каждом эксперименте масса, приложенная на сбегющую ветвь, была одинакова (1006,5 г). В табл. 3 представлены основные характеристики изготовленных образцов.

Таблица 3. Характеристики изготовленных сетных образцов

Table 3. Characteristics of manufactured net exemplars

Номер образца	Материал	$d/a$	$a$	Масса $m$ , г	Вес $P$ , Н
1	ПА	0,067	30	52,6	0,515
2	ПП	0,067	30	52,6	0,515
3	ПЭФ	0,067	30	52,6	0,515
4	ПА	0,050	40	52,6	0,515
5	ПП	0,050	40	52,6	0,515
6	ПЭФ	0,050	40	52,6	0,515
7	ПА	0,025	80	52,6	0,515
8	ПП	0,025	80	52,6	0,515
9	ПЭФ	0,025	80	52,6	0,515

Так как масса делей одинакова, они имеют разную длину. Самый короткий из образцов должен был обеспечить перекрытие большого барабана экспериментальной установки (152 мм) при угле контакта  $\alpha = 180^\circ$ . Сетные полотна, изготовленные для проведения исследований, изображены на рис. 1–3. Номера 1, 4, 7 соответствуют образцам, выполненным из ПА; 2, 5, 8 – из ПП; 3, 6, 9 – из ПЭФ.



Рис. 1. Образцы сетных полотен с шагом ячеей 30 мм

Fig. 1. Samples of net webs with a mesh pitch of 30 mm



Рис. 2. Образцы сетных полотен с шагом ячеей 40 мм  
Fig. 2. Samples of net webs with a mesh pitch of 40 mm

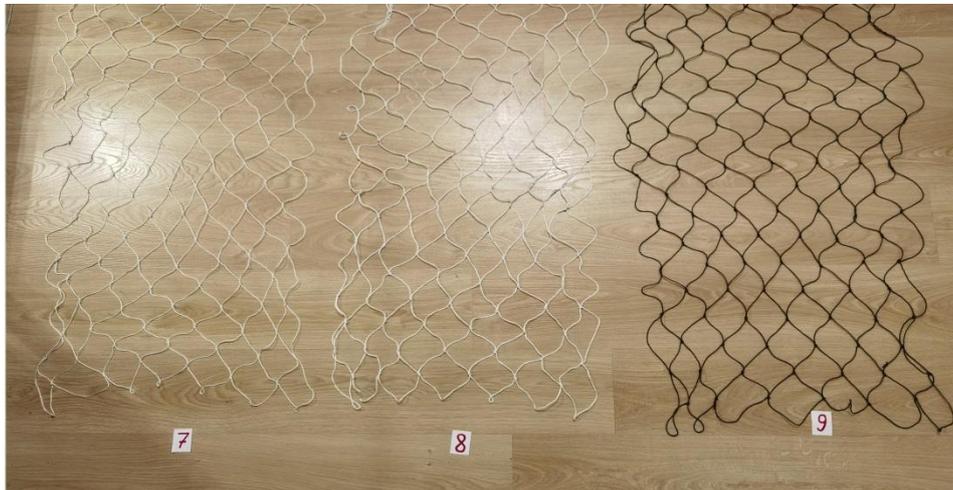


Рис. 3. Образцы сетных полотен с шагом ячеей 80 мм  
Fig. 3. Samples of net webs with a mesh pitch of 80 mm

Втулки барабана для проведения экспериментов, имитирующие рабочую поверхность неводовыборочной машины, изготовлены из обработанной стали. На рис. 4 представлено их изображение в двух плоскостях. Номер 1 – 104 мм; 2 – 128; 3 – 152 мм.



Рис. 4. Изображение экспериментальных втулок барабана в двух плоскостях  
Fig. 4. Image of experimental drum sleeves in two planes

Для реализации экспериментов силами кафедры промышленного рыболовства сконструирована специальная установка. В ее составе (рис. 5): тензостанция "МІС-200" с подключенным к ней тензодатчиком с пределом измерений 98,2 Н; тянущий привод, имитирующий неводоыборочный механизм, состоящий из электродвигателя и прикрепленного к нему червячного редуктора с максимальной частотой вращения 26 об/мин, на который установлен барабан из оргстекла (проградуированный от 0 до 180°) со сменными втулками [8].

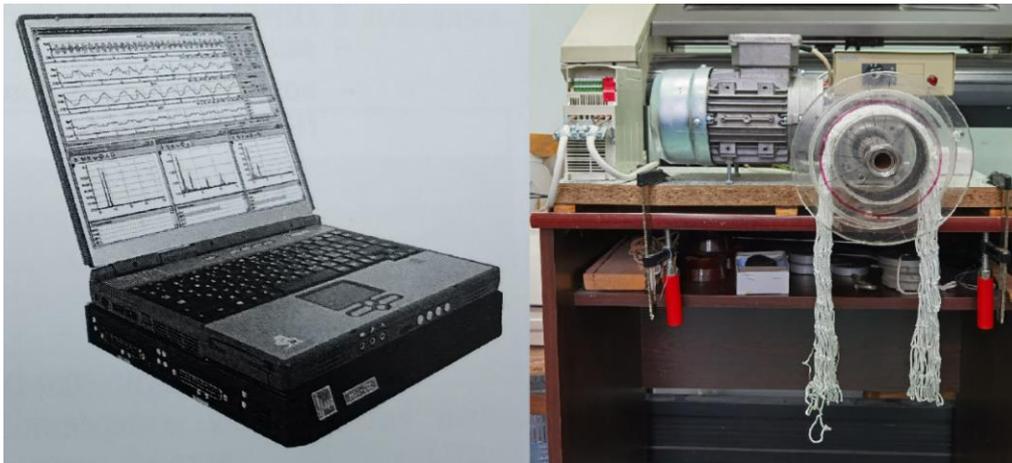


Рис. 5. Изображение тензостанции "МІС-200" и тянущего привода  
Fig. 5. Image of strain-station "MIS-200" and traction gear

Угол дуги контакта между делью и барабаном регулируется при помощи отводящего ролика (рис. 6), установленного на двух подшипниках качения, чтобы уменьшить влияние его сопротивления на натяжение сбегавшей ветви  $S_2$ . Контроль угла происходит за счет градуировки на оргстекле барабана.

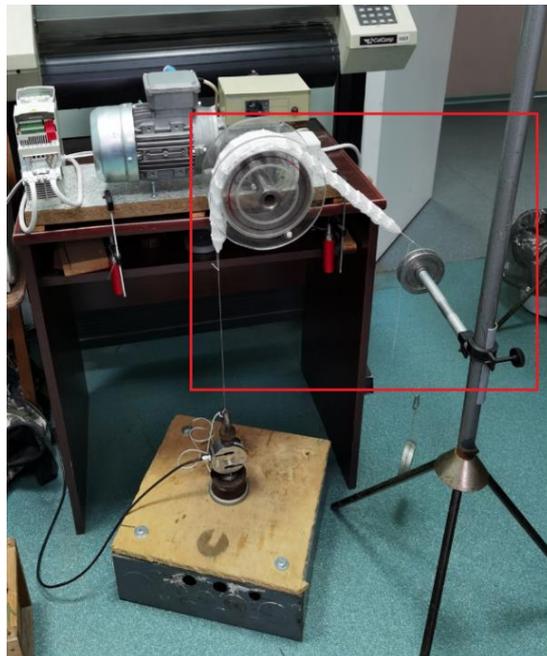


Рис. 6. Боковое изображение экспериментальной установки с отводящим роликом  
Fig. 6. Side image of experimental installation with a pulling roller

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальные исследования проводились с образцами сетных полотен (табл. 3). Угол охвата барабана МФТ составлял  $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ , угловая скорость  $\omega = 0,33 \text{ с}^{-1}$ .

Необходимо ввести некоторые условия проведения опытов: барабан установки абсолютно жесткий, его поверхность – обработанная сталь; пренебрегаем деформацией КВИ, вызванной их весом, из которых изготовлены образцы дели; форма сечения нитей в пределах дуги контакта с поверхностью МФТ не изменяется; не учитываем влияние эксцентриситета сил трения  $F_{\text{т}}$  между барабаном и КВИ по отношению к их оси.

Основное требование для проведения каждого эксперимента состояло в том, что все факторы, кроме трех выбранных при планировании для варьирования, оставались постоянными.

Образец дели собирался в жгут и укладывался на барабан. Один конец крепился к тензодатчику, с помощью которого измерялось натяжение набегающей ветви  $S_1$ . На другом конце фиксировался груз ( $m = 1006,5 \text{ г}$ ), составляющий натяжение сбегавшей ветви  $S_2$ . Затем изменялись факторы (в соответствии с матрицей планирования), и эксперимент повторялся. В каждом опыте замерялась ширина жгута дели, расположенной на барабане. По результатам экспериментов с сетными образцами строились зависимости вида  $S_1 = f(t)$  и фиксировалось максимальное значение  $S_{1max}$ .

На рис. 7 представлен пример зависимости  $S_1 = f(t)$  для образца № 4 ( $D = 128 \text{ мм}$ ;  $\alpha = 135^\circ$ ;  $b_6 = 46 \text{ мм}$ ), максимальное значение  $S_{1max} = 23.641 \text{ Н}$ .

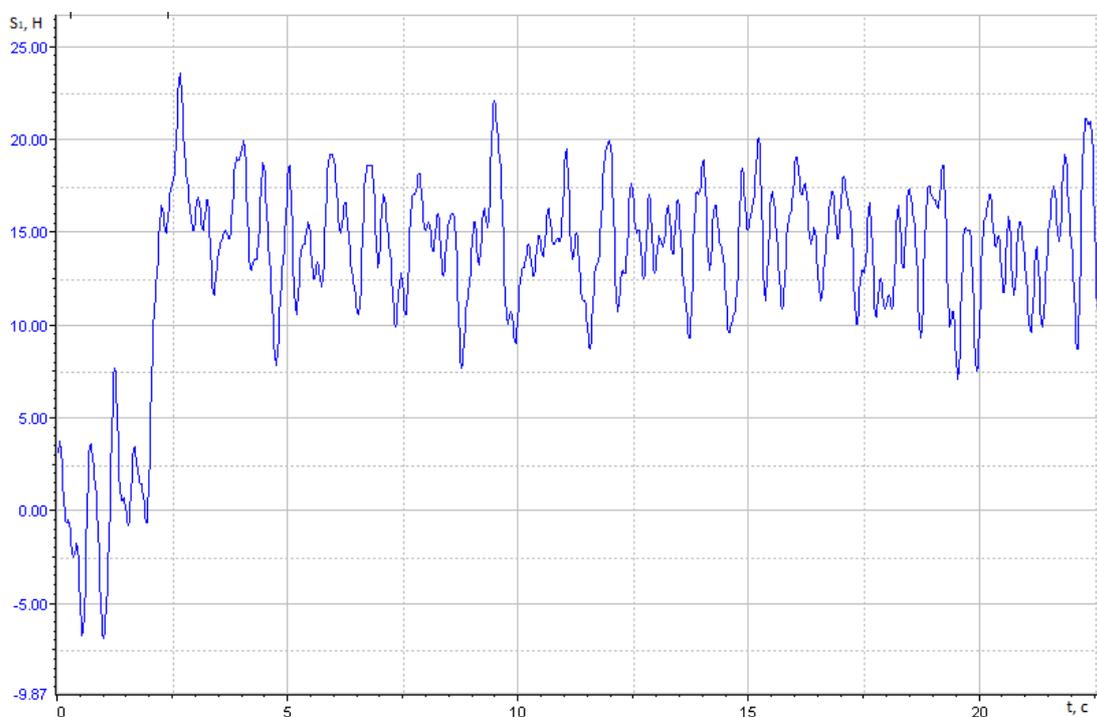


Рис. 7. График зависимости  $S_1 = f(t)$  для экспериментального образца № 4  
Fig. 7. Graph of function  $S_1 = f(t)$  for the experimental exemplar № 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

После проведения всех экспериментов с образцами сетных делей были зафиксированы максимальные значения натяжения набегающей ветви ( $S_{1max}$ , Н) из каждой построенной зависимости  $S_1 = f(t)$ . В табл. 4–6 приведены данные с полученными результатами. Ширина каждого жгута, расположенного на барабане МФТ ( $b_6$ , мм), отображена в квадратных скобках.

Таблица 4. Значения  $S_{1max}$  для образцов из ПА

Table 4. Values of  $S_{1max}$  for PA exemplars

Угол обхвата, град	Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 104 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 128 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 152 мм		
	1	4	7	1	4	7	1	4	7
90	19.398 [53]	20.610 [49]	18.943 [32]	23.610 [60]	20.458 [53]	21.065 [34]	21.065 [57]	24.398 [51]	23.641 [36]
135	22.883 [53]	24.247 [51]	22.428 [34]	23.338 [57]	23.641 [46]	22.732 [40]	26.065 [62]	26.520 [51]	26.823 [39]
180	25.308 [60]	27.429 [53]	26.369 [34]	24.398 [63]	24.247 [52]	27.732 [36]	26.672 [59]	25.308 [45]	28.187 [33]

Таблица 5. Значения  $S_{1max}$  для образцов из ПП

Table 5. Values of  $S_{1max}$  for PP exemplars

Угол обхвата, град	Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 104 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 128 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 152 мм		
	2	5	8	2	5	8	2	5	8
90	23.338 [64]	23.489 [58]	23.035 [36]	20.610 [67]	22.883 [58]	23.641 [32]	28.642 [68]	24.702 [62]	27.126 [36]
135	30.763 [62]	28.793 [55]	29.096 [34]	24.853 [63]	27.278 [57]	25.914 [35]	34.855 [66]	35.613 [62]	31.218 [40]
180	36.370 [66]	37.734 [62]	36.522 [35]	30.612 [68]	30.460 [62]	32.127 [33]	40.462 [65]	37.734 [61]	38.947 [35]

Таблица 6. Значения  $S_{1max}$  для образцов из ПЭФ

Table 6. Values of  $S_{1max}$  for PE exemplars

Угол обхвата, град	Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 104 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 128 мм			Номер экспериментального образца, взаимодействующего с барабаном D = 152 мм		
	3	6	9	3	6	9	3	6	9
90	21.368 [60]	22.277 [54]	21.368 [28]	20.610 [58]	20.610 [53]	19.852 [27]	18.640 [58]	20.458 [52]	22.125 [35]
135	23.944 [63]	24.095 [54]	25.005 [31]	21.065 [53]	20.761 [47]	22.580 [30]	25.611 [63]	23.489 [47]	26.520 [35]
180	25.005 [61]	25.611 [52]	26.369 [31]	25.156 [59]	24.095 [51]	26.520 [30]	26.672 [64]	27.581 [52]	28.036 [37]

При помощи полученных результатов были построены графики (рис. 7–9),  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$ , где  $C_3$  – условия проведения эксперимента.

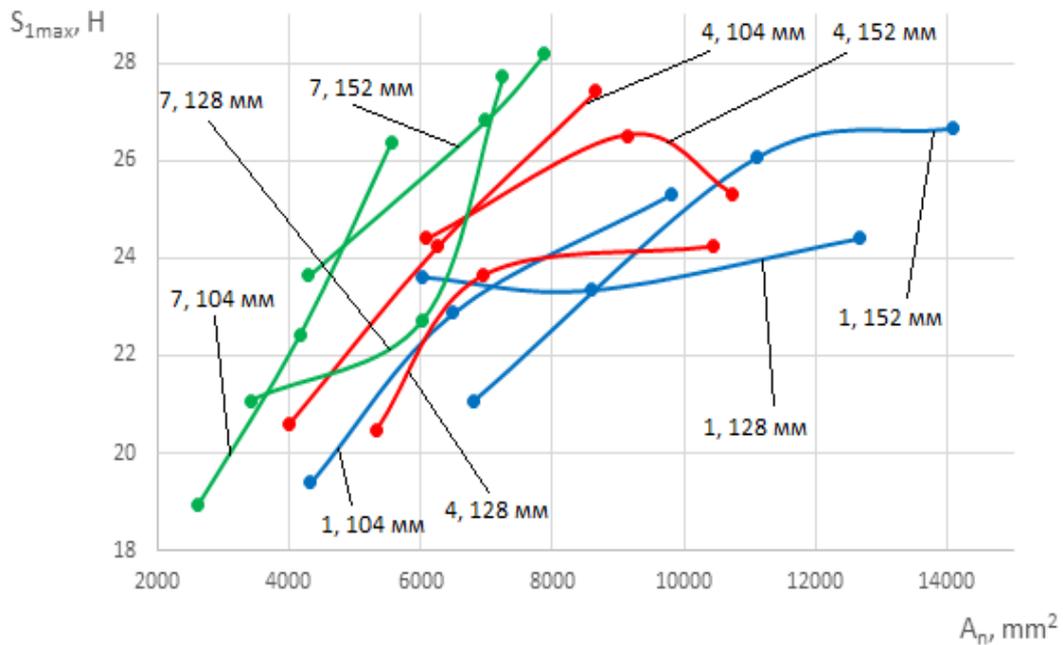


Рис. 8. График зависимости  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  для образцов из ПА  
Fig. 8. Graph of function  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  for PA exemplars

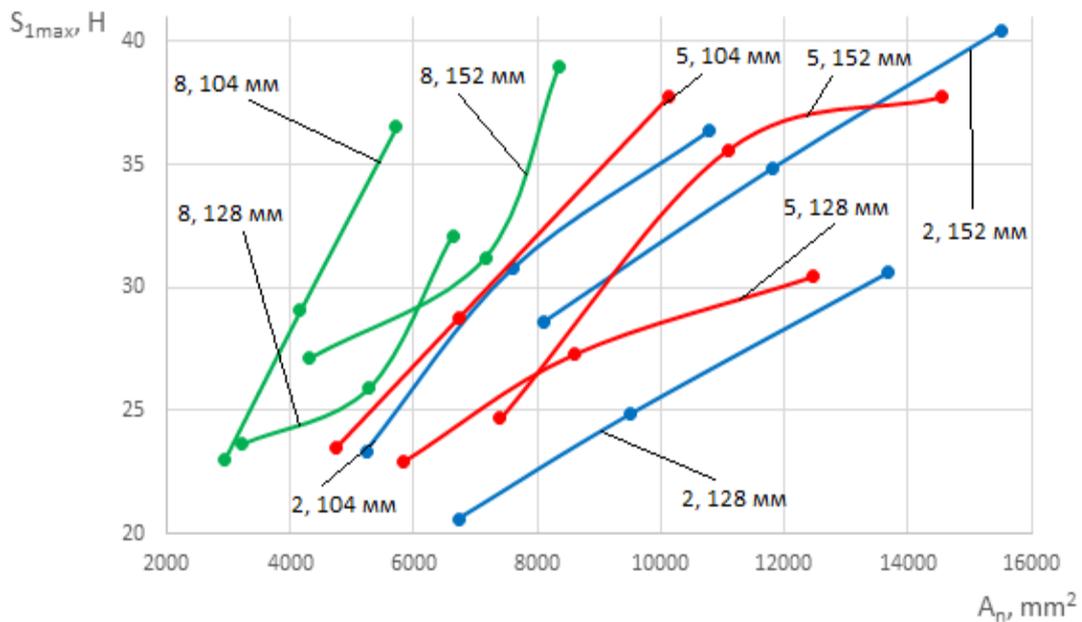


Рис. 9. График зависимости  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  для образцов из ПП  
Fig. 9. Graph of function  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  for PP exemplars

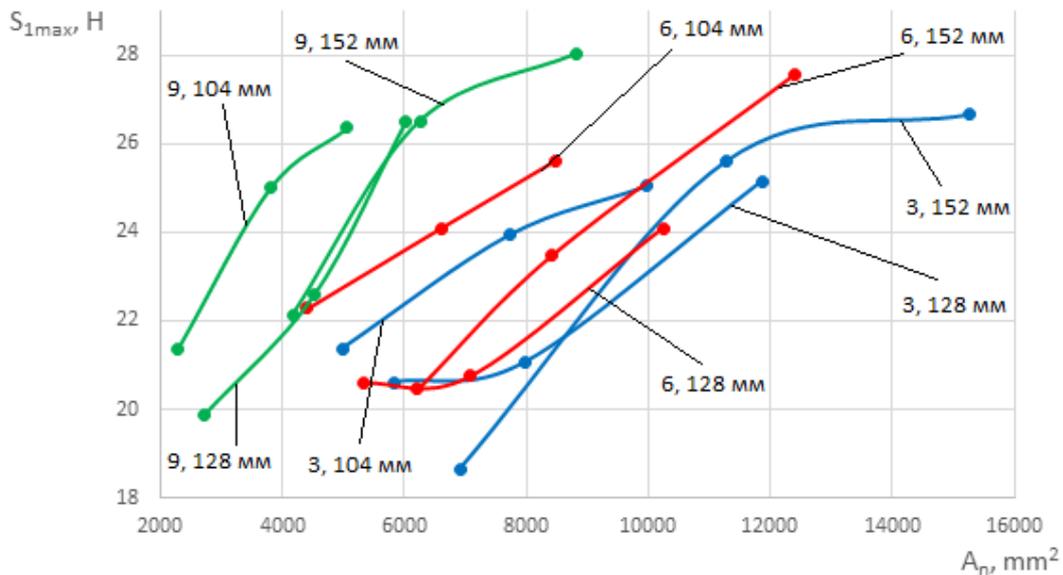


Рис. 10. График зависимости  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  для образцов из ПЭФ  
 Fig. 10. Graph of function  $S_{1max} = f(A_n, C_3)$  for PE exemplars

### ВЫВОДЫ

На графике, изображающем зависимость  $S_1 = f(t)$  (рис. 7), отчетливо видно реальное взаимодействие образца сетного полотна и стального барабана МФТ. По окончании достижения  $S_{1max} = 23.641$  Н происходит проскальзывание, после которого величина силы натяжения набегающей ветви должна увеличиться (не достигая максимального значения) и оставаться постоянной, чего не происходит вследствие возрастания и падения  $S_1$ . Это объясняется тем, что условия не идеальны. Из-за узлов и крутки нитей поверхность, образуемая жгутом дели, неравномерная, и это приводит к постоянным срывам и зацеплениям после первого проскальзывания (не достигая  $S_{1max}$ ).

Из экспериментальных данных, полученных в результате проведенных опытов, можно сделать следующие выводы:

1. Сетные образцы, изготовленные из КВИ различных материалов (представленных в статье), при одних и тех же условиях показали разные результаты  $S_{1max}$ , из которых следует, что наиболее сильное зацепление происходило с делами, изготовленными из ПП, а наиболее слабое – из ПЭФ.

2. Из графиков (рис. 7–9), построенных на основе экспериментальных данных, видно, что у сетных образцов с большим шагом ячеей меньше нормальная площадь соприкосновения с барабаном МФТ, в то же время сила натяжения набегающей ветви непропорционально меньше, а в некоторых случаях – даже больше, чем у делей с меньшим шагом. Это может объясняться тем, что узлы при взаимодействии с барабаном не образуют с нитью единую плоскость, а как бы немного приподнимают ее по краям (рис. 10), из чего следует, что реальная площадь контакта ( $A$ ) меньше нормальной. Иными словами, чем больше  $d/a$ , тем меньше  $A$ .

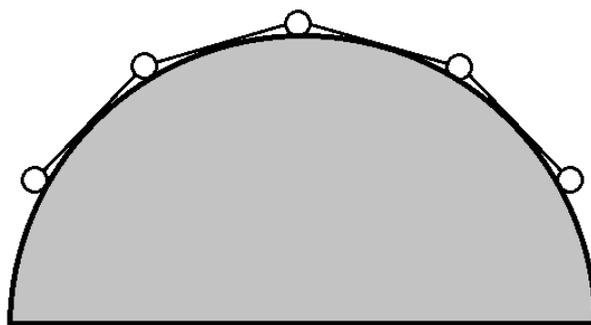


Рис. 11. Схематичное изображение расположения узлов на барабане МФТ  
Fig. 11. Schematic image of placing knots on the drum of FTM

Эти выводы справедливы для таких условий: барабан МФТ из обработанной стали;  $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ;  $n = 20$  об/мин.

Из написанного выше очевидно, что необходимы дальнейшие исследования коэффициента трения делей о МФТ. Требуется произвести расчет  $\mu$  через зависимость Амонтона, используя полученные данные, а также проверить применимость формулы Недоступа-Орлова и при необходимости доработать ее.

#### Список источников

1. Зеброва Е. М. Исследование процесса трения скольжения жгута дели во фрикционных рабочих органах рыбопромысловых механизмов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.17. Калининград, 2007. 23 с.
2. Суконнов А. В. Экспериментальное определение зависимостей коэффициентов трения скольжения от характеристик фрикционных органов рыбопромысловых машин и орудий рыболовства: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.17. Калининград, 2009. 24 с.
3. Мартынов А. Н., Недоступ А. А. Анализ методов расчета неводовыборочных комплексов // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии-2020: VIII Международный Балтийский морской форум (5–10 октября): материалы. Калининград: БГАРФ ФГБОУ ВО "КГТУ", 2020. Т. 2. С. 234–240.
4. Мартынов А. Н., Недоступ А. А. Методика планирования эксперимента по исследованию статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа // Известия Калининградского государственного технического университета. 2022 (в печати).
5. Мартынов А. Н., Недоступ А. А. Постановка задачи экспериментального исследования статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии-2021: IX Международный Балтийский морской форум (4–9 октября): материалы. Калининград: БГАРФ ФГБОУ ВО "КГТУ", 2021. Т. 2. С. 353–358.
6. Howard J. S. Experimental Design and Analysis. USA: 2018. 414 с.
7. Хамханов К. М. Основы планирования эксперимента: методическое пособие. Улан-Удэ: 2006. 94 с.

8. Недоступ А. А., Орлов Е. К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа // Трение и износ. 2010. Т. 31. № 4. С. 403–411.

### References

1. Zebrova E. M. *Issledovanie protsessa triniya skol'zheniya zhguta deli vo friksionnykh rabochikh organakh rybopromyslovykh mekhanizmov. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Study of the friction-slide process of a seine bundle in frictional working parts of fishing mechanisms. Abstract of dis. can. sci.]. Kaliningrad, 2007, 23 p.

2. Sukonnov A. V. *Eksperimental'noe opredelenie zavisimostey koeffitsientov treniya skol'zheniya ot kharakteristik friksionnykh organov rybopromyslovykh mashin i orudiy rybolovstva. Avtoreferat diss. kand. tekhn. Nauk* [Experimental definition of dependencies of the friction-slide coefficients from characteristics of the friction parts of fishing machines and fishing gears. Abstract of dis. can. sci.]. Kaliningrad, 2009, 24 p.

3. Martynov A. N., Nedostup A. A. Analiz metodov rascheta nevodovyborochnykh kompleksov [Analysis of calculation methods of seine-hauling complexes]. *Materialy VIII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma "Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii"* [Proceedings of the VIII International Baltic Maritime Forum "Marine technology and engineering. Safety of the marine industry"]. Kaliningrad, 2020, pp. 234–240.

4. Martynov A. N., Nedostup A. A. Metodika planirovaniya eksperimenta po issledovaniyu staticheskogo koeffitsienta treniya zhguta deli na tyagovom barabane mekhanizma friksionnogo tipa [Methodology for planning an experiment to study the static coefficient of friction of the harness on the traction drum of a friction-type mechanism.]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022 (v pechati).

5. Martynov A. N., Nedostup A. A. Postanovka zadachi eksperimental'nogo issledovaniya staticheskogo koeffitsienta treniya zhguta deli na tyagovom barabane mekhanizma friksionnogo tipa [Statement of the problem of the experimental study of the static coefficient of friction of a seine harness on a traction drum of a friction-type mechanism]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma "Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii"* [Proceedings of the IX International Baltic Maritime Forum "Marine technology and engineering. Safety of the marine industry"]. Kaliningrad, 2021, pp. 353–358.

6. Howard J. S. *Experimental Design and Analysis*. USA, 2018, 414 p.

7. Hamhanov K. M. *Osnovy planirovaniya eksperimenta: metodicheskoe posobie* [Planning of experiment basics: methodological guide]. Ulan-Ude, 2006, 94 p.

8. Nedostup A. A., Orlov E. K. Issledovanie staticheskogo koeffitsienta treniya rybolovnykh kanatno-verevochnykh izdeliy na barabane mekhanizma friksionnogo tipa [Study of the static coefficient of friction of thread-rope products on the drum of a friction-type mechanism]. *Trenie i iznos*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 403–411.

### **Информация об авторах**

**А. Н. Мартынов** – аспирант кафедры промышленного рыболовства

**А. А. Недоступ** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

### **Information about the authors**

**A. N. Martynov** – post-graduate student of the Department of Industrial Fisheries

**A. A. Nedostup** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries

Статья поступила в редакцию 13.05.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 21.07.2022

The article was submitted 13.05.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 21.07.2022

Научная статья

УДК 628.345.4

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-53-64

### Параметры флокуляции сточных вод с последующим фильтрованием на пресс-фильтрах

Елена Викторовна Ульрих<sup>1</sup>, Анна Сергеевна Баркова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup> elen.ulrich@mail.ru\*, <http://orcid.org/0000-0003-4107-7277>

<sup>2</sup> anna.barkova@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2602-6810>

**Аннотация.** Чем выше влажность осадка, тем выше затраты на его дальнейшую переработку. Целью обезвоживания агломерированного шлама является снижение затрат на последующую сушку и транспортировку. Работа посвящена изучению параметров флокуляции сточных вод катионными флокулянтами с последующим фильтрованием осадка на пресс-фильтрах. Для улучшения обезвоживания шлама использовали химические реагенты – катионные полиэлектролиты "Зетаг-7664", "Зетаг-7689" и "Зетаг-7692". Определяли скорость осаждения твердых частиц, флокулирующую способность и флокулирующий эффект, а также влажность осадка после фильтрования на пресс-фильтрах. Установлено, что наибольшей скоростью осаждения (7 мм/с), наибольшими флокулирующей активностью и флокулирующим эффектом (0,66 и 26,2, соответственно) обладает среднекатионный флокулянт "Зетаг-7689". Доказано, что после фильтрования наименьшую остаточную влажность имеет среднекатионный флокулянт "Зетаг-7689" (36 %). В высококатионном "Зетаг-7664" и низкокатионном "Зетаг-7692" отмечалась остаточная влажность после флокуляции и фильтрования – 39 и 37 %, соответственно. Остаточная влажность осадка, отфильтрованного на фильтр-прессе, соответствует технологическим требованиям. Выделение воды из этой структуры при фильтрации можно объяснить явлением капиллярности. Между частицами образуется мениск жидкости. В мениске с противоположной стороны жидкости капиллярные потенциалы направлены в противоположные стороны, но их абсолютные значения не равны. В результате жидкость движется по капилляру до тех пор, пока потенциалы не сравняются. Для достижения разумного обезвоживания осадка необходимо провести пробную флокуляцию, изучить процессы адсорбции полиэлектролитов на осадке, реологические свойства суспензий сточных вод и растворов флокулянтов. Необходимо выбрать и контролировать параметры фильтр-пресса.

**Ключевые слова:** сточные воды, флокулянты, фильтр-прессы, осаждение, осадок, катионные полиэлектролиты, обезвоживание

**Для цитирования:** Ульрих Е. В., Баркова А. С. Параметры флокуляции сточных вод с последующим фильтрованием на пресс-фильтрах // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 53–64.

Original article

### Parameters of wastewater flocculation with subsequent filtration on press filters

Elena V. Ul'rikh<sup>1</sup>, Anna S. Barkova<sup>2</sup>

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> elen.ulrich@mail.ru \*, <http://orcid.org/0000-0003-4107-7277>

<sup>2</sup> anna.barkova@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2602-6810>

**Abstract.** The higher is the sludge moisture content, the higher are the costs for further sludge processing. Thus, agglomerated sludge is dehydrated in order to reduce the cost of its subsequent drying and transportation. The purpose of this research was to study the parameters of wastewater flocculation with cationic flocculants, followed by filtering the sludge on press filters. To improve the sludge dehydration, the following chemical reagents were used: cationic polyelectrolytes "Zetag-7664", "Zetag-7689" and "Zetag-7692". Settling velocity of solid particles, flocculating ability and flocculating effect have been determined. The moisture content of the sludge after filtration on press filters has been measured. It has been established that the highest settling rate (7 mm/s), the highest flocculating activity and flocculating effect (0.66 and 26.2, respectively) belong to the medium cationic flocculant "Zetag-7689". The lowest residual moisture content after filtration on press filters was shown by the medium cationic flocculant "Zetag-7689" (36 %). The high cationic flocculant "Zetag-7664" and the low cationic one "Zetag-7692" had residual moisture content after flocculation and press filtration of 39 and 37%, respectively. The residual moisture content of the sludge filtered on the filter press meets the technological requirements. The release of water from this structure during filtration can be explained by the phenomenon of capillarity. A liquid meniscus is formed between the particles. In the meniscus on the opposite side of the liquid, the capillary potentials are directed in opposite directions, but their absolute values are not equal. As a result, liquid moves through the capillary until the potentials are equal. To achieve reasonable dehydration of the sludge, it is necessary to carry out test flocculation as it allows studying the processes of polyelectrolyte adsorption on the sludge, the rheological properties of wastewater suspensions and flocculant solutions. It is obligatory to select and control filter press parameters.

**Key words:** wastewater, flocculants, filter presses, settling, sludge, cationic polyelectrolytes, dehydration

**For citation:** Ulrikh E. V., Barkova A. S. Parameters of wastewater flocculation with subsequent filtration on press filters. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):53–64.(in Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Осадки сточных вод представляют собой многокомпонентную смесь, состоящую в основном из воды (95 %), органических соединений, микроорганизмов и коллоидов. Высокое содержание воды в осадке способствует большим затратам на его дальнейшую обработку. Кроме того, из-за свойств шлама могут возникнуть проблемы, связанные с его окончательной утилизацией [1]. Процесс очистки на очистных сооружениях включает в себя обезвоживание и фильтрование осадка и

направлен на уменьшение его гидратации и объема, а также для облегчения дальнейшей переработки осадка, обеспечения экономической целесообразности при утилизации шлама [2]. Учитывая водоудерживающую способность осадка сточных вод и механическое обезвоживание, гидратация осадка может варьировать от 95–99 до 65–85 % [3]. Без использования синтетических полимеров (флокулянтов) и процесса фильтрования даже правильно спроектированные и эксплуатируемые механические обезвоживающие устройства не гарантируют высокой эффективности [4].

Термин "полиакриламид" широко используется для описания любого полимера, в котором акриламид присутствует в качестве одного из мономеров. Более строго, его номенклатура IUPAC – поли(проп-2-енамид), что определяет его как водорастворимый полимер, образованный полимеризацией либо мономеров акриламида, либо N, N'-метилденбис(акриламида). Полиакриламид, содержащий только акриламидные мономеры, является неионогенным; другие мономеры, такие как акрилат или 2-акриламидо-2-метилпропансульфонат, могут быть сополимеризованы в различных процентных соотношениях с образованием анионного полиакриламида; 1, 4 диметилдиаллиламмоний, этанаминий (N,N,N-триметил-2-((1-оксо-2-пропенил)окси) и 1,2-диметил-5-винилпиридин – обычные сомономеры для катионного полиакриламида.

Гидролизованная форма полиакриламида, сополимера акриламида и акриловой кислоты, является наиболее широко используемым анионным полиакриламидом при разработке месторождений нефти и газа, а также для кондиционирования почвы. Самый распространенный коммерческий состав полиакриламида в нефтегазовой промышленности представляет собой эмульсию вода-в-масле, в которой полимер растворен в водной фазе, инкапсулированной непрерывной масляной фазой, стабилизированной поверхностно-активными веществами.

Существует много способов изменить структуру осадка в процессе осаждения. Однако самый распространенный метод на многих очистных сооружениях – использование неорганических и органических коагулянтов и флокулянтов [5]. Модельный алгоритм для расчета наиболее выгодной дозы полиэлектролитов или других химических реагентов, обеспечивающих наилучшие обезвоживающие эффекты, разработан слабо [2]. Для снижения расхода химических реагентов флокулянты модифицируют и исследуют новые методы фильтрования осадков после флокуляции [6]. Коагулянты и флокулянты могут изменить структуру шлама и повысить его сжимаемость.

На очистных станциях применяются следующие методы обезвоживания: дренаж, представляющий собой истечение воды под собственным весом; обезвоживание под действием вибрации собственного веса; центрифугирование – обезвоживание в центрифуге; отстаивание–сжатие в различных отстойниках; обезвоживание в гидроциклоне; фильтрацию через пористую мембрану; естественную сушку в складских условиях [4].

Целью обезвоживания агломерированного шлама является снижение затрат на последующую сушку и транспортировку. В зависимости от характера влажного осадка и его жидкой фазы используются различные методы фильтрации и обезвоживания, например, вакуумный фильтр (вакуум создается под пористой перегородкой) или фильтр-пресс (давление на сырье подается сверху).

Степень обезвоживания при этом зависит от сопротивления осадка движению потока жидкости, свойств твердых частиц, жидкой фазы суспензии и условий фильтрации. Структура осадка определяется гидродинамическими факторами, пористостью осадка, размером и смачиваемостью составляющих его частиц [2, 6]. Известно влияние физико-химических факторов на осадочные структуры: степень коагуляции или флокуляции, наличие сольватных оболочек и др. Степень воздействия гидродинамических и физико-химических факторов определяется размером частиц, с их увеличением возрастает влияние гидродинамических факторов, с уменьшением – физико-химических и химических [7]. Повышение скорости фильтрации влияет на гидродинамические факторы, увеличивая перепад давления (сила движения процесса) на поверхности фильтра и уменьшая сопротивление образующегося осадка. Отделение твердого вещества от жидкости с помощью фильтр-прессов представляет собой сложный процесс, на фильтрацию влияют условия образования суспензии и ее обработки. Эти факторы позволяют многократно изменять сопротивление осаждению. Предварительная обработка суспензии флокулянтами увеличивает пористость осадка, что облегчает его фильтрацию [8].

Цель данной работы – изучение параметров флокуляции сточных вод катионными флокулянтами с последующим фильтрованием осадка на пресс-фильтрах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### МЕТОДЫ

Для исследования использовали осадок сточных вод с городских очистных сооружений вместимостью 40 000 м<sup>3</sup>. Осадок собирали на механических станциях обезвоживания перед флокуляцией. Все испытания проходили в трех повторностях. Было отобрано девять проб обводненного осадка по 500 мл. Для обеспечения надлежащих условий процесса образцы шлама хранились в холодильнике при температуре 4<sup>0</sup>С и подогревались до комнатной температуры перед использованием. Параметры осадка: рН – 7,98, удельное фильтрующее сопротивление –  $2,52 \times 10^{13}$  м/кг, влажность – 97,8 %, цвет – серо-черный, запах – сырого торфа. Для улучшения обезвоживания шлама использовали химические реагенты – катионные полиэлектролиты "Зетаг-7664", "Зетаг-7689" и "Зетаг-7692", которые представляют собой полиакриламидные полимеры и четвертичные катионные мономеры. Концентрация катионных флокулянтов составляла 0,1 %. Образцы перемешивали с помощью магнитной мешалки "Biosan MMS-3000N" со скоростью 60–100 об./мин.

Процесс осаждения взвешенных частиц осуществлялся по данному методу определения скорости осаждения твердых частиц в присутствии катионного флокулянта. Измеряли высоту спрессованных отложений в цилиндре, в который добавляли полиэлектролит.

Скорость осаждения ( $V_{oc}$ ) (мм/с) рассчитывали по формуле:

$$V_{oc} = \frac{100}{t},$$

где 100 – расстояние между метками в цилиндре, мм.

Флокулирующий эффект флокулянтов оценивали по относительному безразмерному параметру  $D$  :

$$D = 1 - \frac{V_0}{V},$$

где  $V_0$  и  $V$  – средние скорости осаждения дисперсной фазы без флокулянтов и в присутствии катионных флокулянтов, соответственно.

Для количественной оценки эффективности действия катионных флокулянтов по сравнению с исходными образцами осаждаемых шламов использовали величину  $\lambda$  – флокулирующую активность:

$$\lambda = \left(1 - \frac{V_0}{V}\right) \cdot \frac{1}{C} = \frac{D}{C},$$

где  $C$  – концентрация полимера, %.

После флокуляции осадки фильтровали на фильтр-прессах, затем определяли их влажность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед проведением эксперимента была выдвинута гипотеза, что явное преимущество в процессе обезвоживания и флокуляции будет иметь бисерный флокулянт "Зетаг-7689". Это объясняется тем, что непористый дисперсный материал химически взаимодействует с обводненным осадком сточных вод только верхней, незначительной площадью поверхности частиц, в то время как бисерные микропористые флокулянты контактируют с осадком внешней и внутренней (в сотни раз большей, чем внешняя площадь контактов) поверхностями частиц, в результате чего силы удерживания бисерным материалом значительно выше, чем непористым, что способствует повышению степени флокуляции и обезвоживания осадка [9].

Согласно классификации П. А. Ребиндера гелеобразные растворы флокулянтов относятся к коагуляционным (тиксотропно-обратимым) структурам, в которых его макромолекулы точно контактируют друг с другом за счет сил Ван-дер-Ваальса через жидкие прослойки или через их вытеснение. При этом образуются рыхлые каркасы из цепочек и агрегатов. Это явление характеризует специфическое свойство коагуляционных структур – тиксотропию, которая наиболее проявляется при течении гелеобразных растворов, представляющих собой пластичные системы в отличие от непластичных (идеально вязких систем). Образцово подходит под классификацию П. А. Ребиндера средnekатионный флокулянт "Зетаг-7689".

Установлено, что "Зетаг 7689" имеет среднюю молекулярную массу и среднюю (50 %) степень гидролиза. Известно, что половина макромолекул этого флокулянта находится в глобулярном состоянии, а половина – в фибриллярном. Такая структура способствует наилучшей адсорбции флокулянта на частицах суспензии осадка сточных вод, а значение молекулярной массы ММ (около 15 млн) обуславливает повышенную скорость осаждения частиц, тогда как у слабokатионного "Зетаг-7692", имеющего более свернутую структуру со степенью его ионизации до 30 %, величина адсорбции на частицах суспензии ниже, что можно объяснить более низкой ММ (около 10 млн). Молекулы "Зетаг-7664", наоборот,

развернуты в отдельные нити (степень ионизации 70 %), и осаждение взвешенных частиц происходит быстрее, при этом осадок имеет более плотную структуру. Осаждение частиц суспензии можно объяснить с позиций теории ДЛФО (Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека). Устойчивость и коагуляция связаны непосредственно с взаимодействием частиц дисперсной фазы между собой или с какими-либо поверхностями. Это взаимодействие определяет адгезию частиц к макроповерхностям и структурообразование в дисперсных системах. Поэтому в основе теории лежит соотношение между силами притяжения и отталкивания. На малых и больших расстояниях между частицами преобладает энергия притяжения, а на средних – энергия электростатического отталкивания. Первичный минимум соответствует непосредственному слипанию частиц, а вторичный – их притяжению через прослойку среды. Максимум на средних расстояниях характеризует потенциальный барьер, препятствующий слипанию частиц. Силы взаимодействия могут распространяться на расстояния до сотен нанометров, максимальное значение энергии достигает  $10^{-2}$  Дж/м<sup>2</sup> и более. В исследуемых системах осадков сточных вод в процессе флокуляции присутствует достаточно высокий потенциальный барьер, а также широкий и глубокий вторичный минимум. В системе происходит быстрая флокуляция частиц на расстояниях, соответствующих вторичному минимуму. Благодаря наличию потенциального барьера частицы во флокулах не имеют непосредственного контакта и разделены прослойками среды. Во вторичном минимуме наблюдается явление тиксотропии, совмещенное со стадией синерезиса [13].

Электростатический фактор устойчивости характерен для наиболее распространенных систем с водными средами, создающими условия для диссоциации. Механизм образования электростатического барьера связан с механизмом образования двойного электрического слоя: поверхностная диссоциация вещества частиц, адсорбция электролитов, в том числе ионогенных поверхностно активных веществ и высокомолекулярных соединений, и ориентирование диполей молекул растворителя или растворенных веществ. Так как электростатический барьер определяется, главным образом, электрическим потенциалом и толщиной двойного электрического слоя, то, очевидно, он будет возрастать с увеличением поверхностной диссоциации, количества адсорбируемых потенциалопределяющих ионов и прочности их закрепления, а также с уменьшением взаимодействия противоионов с поверхностью (увеличение двойного слоя). При наличии на поверхности функциональных групп флокулянтов, обладающих слабыми кислотными свойствами, значение потенциала и, соответственно, потенциального барьера зависит от рН среды [6].

Полученные в процессе флокуляции осадков сточных вод данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Флокулирующие и загущающие свойства катионных флокулянтов на осадках сточных вод

Table 1. Flocculating and thickening properties of cationic flocculants on sewage sludge

Параметр	Катионные флокулянты		
	"Зетаг-664"	"Зетаг-7689"	"Зетаг-7692"
Скорость осаждения, мм/с	9	7	10
Высота осадка, мм	40	35	42
Влажность осадка после флокуляции, %	72	58	66
Флокулирующий эффект (D)	0,57	0,66	0,56
Флокулирующая активность ( $\lambda$ )	22,8	26,2	22,5

Как видно из данных, наибольшую скорость седиментации показывает среднекатионный флокулянт "Зетаг-7689" (7 мм/с). Этот факт можно объяснить молекулярной массой флокулянта, катионной природой, свернутостью макромолекулярных глобул и адсорбционным взаимодействием флокулянта с частицами осадка. Благодаря повышенной адсорбционной активности "Зетаг-7664" с высокой молекулярной массой образуются крупные, быстро оседающие хлопья. При этом высота осадка самая низкая (35 мм), так как происходит ускоренное выделение влаги и осадок обезвоживается и спрессовывается. Из-за быстрого и более полного отделения жидкости влажность осадка после флокуляции для среднекатионного "Зетаг-7689" наиболее низкая (58 %). На процесс быстрой флокуляции влияет наличие невысокого электростатического барьера в случае использования среднекатионного "Зетаг-7689". От скорости осаждения частиц зависят кинетические характеристики: флокулирующий эффект и флокулирующая активность. Для "Зетаг-7689" данные характеристики наибольшие – 0,66 и 26,2, соответственно. Для "Зетаг-7664" скорость осаждения частиц несколько ниже – 9 мм/с, высота осадка – 40 мм из-за более медленного и менее интенсивного обезвоживания. По этой причине при использовании "Зетаг-7664" влажность осадка после флокуляции имела наибольшее значение – 72 %, при этом снизились кинетические характеристики процесса флокуляции, флокулирующий эффект и флокулирующая активность составили 0,57 и 22,8, соответственно.

Полиэлектролит "Зетаг-7692" обладает самой низкой скоростью осаждения и увеличенной высотой осадка (10 мм/с и 42 мм, соответственно). Были отмечены влажность осадка после флокуляции (66 %), наименьший флокулирующий эффект (0,56) и самая низкая флокулирующая активность (22,5).

"Зетаг-7689" наиболее эффективен для осветления суспензий сточных вод, поскольку макромолекулы образуют высоковязкую сетчатую структуру, что приводит к увеличению ММ и улучшению характеристик агрегации. Суспензии сточных вод при воздействии высококатионного "Зетаг-7664" и низкокатионного "Зетаг-7692" менее прозрачны, чем при воздействии "Зетаг-7689" со средним содержанием катионов.

Анализ полученных данных показывает, что Зетаг7689 имеет более высокую скорость адсорбции частиц осадка, чем Зетаг7664 и Зетаг7692. Процесс флокуляции происходит быстрее, а флокулянты Зетаг7689 имеют меньшую высоту осадка, чем другие флокулянты. Максимальное сжатие осадка с помощью Зетаг 7689 было в два раза больше, чем с Зетаг 7664 и Зетаг 7692. Уплотнение осадка и

повышение скорости осветления сточных вод ускоряют процесс концентрации осадка.

При исследовании качества осадков после флокуляции и фильтрования на пресс-фильтрах получены данные, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Свойства осадков после флокуляции и фильтрования  
Table 2. Properties of sediments after flocculation and filtration Убрала отступ

Название флокулянта	Свойства осадка после флокуляции	Свойства осадка после фильтрования	Количество влаги, %
"Зетаг-7664"	Происходит образование рыхлого, разделяющегося на флокулы осадка	Происходит образование нелипкого, нерасслаивающегося осадка с частично отделившейся влагой, сохраняющего форму	39
"Зетаг-7689"			36
"Зетаг 7692"			37

Из данных таблицы можно сделать вывод, что эффективность обезвоживания всех трех флокулянтов примерно одинакова. После первой стадии обезвоживания – флокуляции – происходит образование рыхлого, разделяющегося на флокулы, влажного осадка. После проведения стадии фильтрования на пресс-фильтрах частично обезвоженного осадка образуется нелипкий, нераслаивающийся осадок с легким частичным отделением влаги. Осадок сохраняет форму и может быть вывезен на полигон или использован для последующей переработки в качестве топливных пеллет, удобрений и других побочных продуктов. Остаточная влажность осадка, отфильтрованного на фильтр-прессе, для "Зетаг-7689" составила 36, для "Зетаг-7664" – 39, для "Зетаг-7692" – 37 %. Данные значения остаточной влажности осадка сточных вод очистных сооружений соответствуют технологическим требованиям.

Полученные данные можно интерпретировать с двух точек зрения. Во-первых, загустевший осадок имеет зернистую структуру. Его частицы разобщены или контактируют слегка [9]. Выделение воды из этой структуры при фильтрации можно объяснить капиллярностью. Между частицами образуется мениск жидкости, в котором на противоположной стороне жидкости точки капиллярности разнонаправлены, но абсолютные значения не равны. Поэтому жидкость движется по капилляру до тех пор, пока потенциалы не сравняются [10]. Таким образом, происходит самопроизвольное отделение жидкости. С другой стороны, отделение воды от осадка при фильтрации можно объяснить явлением разделения жидкости, которое зачастую характерно для гелеобразных структур, когда объем уменьшается до того, как среда естественным образом вытесняется из эластичных осадков. Внешнее давление на систему ускоряет выделение жидкости, по мере сближения частиц друг с другом и попадания в область действия силы начинается выдавливание воды. Причиной обезвоживания может быть образование дополнительных межмолекулярных связей, что приводит к сильному водоотделению [11]. Также расслоение жидкости возможно в случае, если система не достигла равновесия при образовании осадка, когда продолжается процесс, связанный с его установлением. Все вышеперечисленные признаки оказывают влияние на отделение воды, в результате чего качество полученного осадка отвечает технологическим требованиям [12, 13].

Хотя полиакриламид, используемый в экологических системах, имеет очень высокую ММ, хорошо известно, что он может подвергаться деградации с помощью различных механизмов. Значительная подвижность его ионов приводит к высвобождению мономера акриламида – известного токсина и потенциального канцерогена [3].

Механическая деградация чаще всего происходит при переработке нефти и газа из-за высоких скоростей сдвига и удлинения при турбулентном течении через небольшие поры и трещины в пористой среде в этих пластах. Разрыв цепи обычно случается на входе в узкие поры на поверхности песчаника, где напряжение при растяжении является максимальным, при этом полимерная цепь в основном разрывается вблизи средней точки. Чистый сдвиговый поток через поры или трещины, как правило, вызывает ограниченный разрыв цепи. Модельные эксперименты показали, что для деструкции полимера в чистом сдвиговом потоке требуется более чем в 100 раз большая скорость сдвига, нежели для потока через сетчатый фильтр, где присутствуют как продольные, так и сдвиговые потоки. Таким образом, ожидается ограниченная механическая деградация при закачке полиакриламида через штуцеры, клапаны и трещины, где скорость потока низкая; деградация должна быть выше при течении через призабойные зоны и перфорационные отверстия, где скорости значительно выше. Механическая деградация полиакриламида усиливается при высокой солености из-за изменения жесткости полимера в результате комплексообразования полимера с ионами [5].

Химическая деградация полиакриламида, приводящая к разрыву цепи, включает активацию полимера свободными радикалами, образующимися в окружающей среде в результате реакции Фентона. Данная реакция обусловлена взаимодействиями между кислородом, растворенными ионами  $Fe^{2+}$  и сульфатными радикалами посредством персульфатной активации. Гидроксильные радикалы также могут образовываться при обработке озоном и УФ-излучением. Установлено, что разрыв цепи, вызванный свободными радикалами, снижает ММ полиакриламида с  $10^7$  до  $10^5$ . Да в течение 24 ч при воздействии железосодержащего сланца ( $1,5 \text{ мг/л } Fe^{2+}$ ) при  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Инкубация 0,6 % полиакриламида с 30 мМ персульфата калия при  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  вызывала снижение вязкости на 90 % за 2 ч. В этих исследованиях также было обнаружено, что свободнорадикальные реакции разрыва цепи имеют гораздо большую скорость в условиях повышенных температур. Термическое разложение полиакриламида (в отсутствие свободных радикалов) не вызывает существенного разрыва цепи, за исключением очень высоких температур порядка  $300^\circ\text{C}$ . Термическое разложение происходит в результате меж- или внутримолекулярного имидирования амидных групп с выделением аммиака и образованием нитрильных групп, а также в результате разрыва имидных / амидных групп с образованием газообразного азота и углекислого газа. Термическая деградация маловероятна в условиях окружающей среды, хотя температура играет важную роль в определении скорости химической и фотолитической деструкции [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований установлено, что полиэлектролиты являются важными техническими вспомогательными веществами в процессе флокуляции и фильтрования осадков сточных вод городских очистных сооружений.

В ходе исследований изучены параметры флокуляции осадков сточных вод катионными флокулянтами, флокулирующие и загущающие свойства катионных флокулянтов. Установлено, что наибольшими флокулирующими и загущающими свойствами обладает среднекатионный "Зетаг-7689". Скорость осаждения осадка под действием данного флокулянта составила 7 мм/с, высота осадка – 35 мм, влажность после флокуляции – 58 %, флокулирующий эффект и флокулирующая активность – 0,66 и 26,2, соответственно. Доказано, что обезвоживающие свойства всех трех флокулянтов примерно одинаковы. Количество остаточной влаги в осадке после фильтрования на пресс-фильтрах удовлетворяет требованиям технологического процесса.

Стандартной технической информации, такой как молекулярная масса, ионизация и химический состав, недостаточно для оптимального использования флокулянтов. Необходимо подобрать эти вещества для каждого типа осадков. Для этого необходимо отработать процесс флокуляции и изучить процесс адсорбции полиэлектролитов осадками сточных вод, реологические свойства взвесей сточных вод и растворов флокулянтов. Нужно также контролировать параметры фильтр-прессов для эффективного обезвоживания осадков сточных вод [13].

## Список источников

1. Kamizela T., Kowalczyk M. Impact of conditioning substances and filtration pressure on dewatering efficiency of sewage // *Energies*. 2021. № 14. P. 361.
2. Maa Y., Liua Y. Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach // *Biotechnol. Adv.* 2019. № 37. P. 107414.
3. Wójcik M., Stachowicz F. Influence of physical, chemical and dual sewage sludge conditioning methods on the dewatering efficiency // *Powder Technol.* 2019. № 344. P. 96–102.
4. Wu B., Dai X., Chai X. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge reutilizations // *Water Res.* 2020. № 180. P. 115912.
5. Bie'n B., Bie'n J. Dewatering of sewage sludge treated by the combination of ultrasonic field and chemical methods. *Desalin // Water Treat.* 2020. № 199. P. 72–78.
6. Chen C., Zhang P., Yan M. Enhancement of cationic polyacrylamide conditioning of sewage sludge with modified coal fly ash. *Desalin // Water Treat.* 2018. № 133. P. 55–63.
7. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability / C. Zhu, P. Zhang, H. Wang, J. Ye // *Ultrason. Sonochem.* 2018. № 40. P. 353–360.
8. Bie'n B. The influence of conditioning on the quality of reject water after sewage sludge mechanical dewatering // *Proc. ECoPole.* 2017. № 11. P. 471–478.

9. Chen Y., Baygents J. C., Farrell J. Evaluating electrocoagulation and chemical coagulation for removing dissolved silica from high efficiency reverse osmosis (HERO) concentrate solutions // *Journal of Water Process Engineering*. 2017. № 36. P. 50–55.
10. Preparation of octopus-like lignin-grafted cationic polyacrylamide flocculant and its application for water flocculation. / N. Chen, W. Liu, J. Huang, X. Qiu // *International Journal of Biological Macro-molecules*. 2020. № 146. P. 9–17.
11. Hasan A., Fatehi P. Cationic kraft lignin-acrylamide copolymer as a flocculant for clay suspensions: 2. Charge density effect // *Separation and Purification Technology*. 2019. №107. P. 963–972.
12. He W., Zhang Y., Fatehi P. Sulfomethylated kraft lignin as a flocculant for cationic dye. *Colloids and Surfaces // Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016. № 503. P. 19–27.
13. Secondary effluent purification towards reclaimed water production through the hybrid post-coagulation and membrane distillation technology: A preliminary test / X. Liu, C. Tian, W. Sun, Y. Zhao, K. Shih // *Journal of Cleaner Production*. 2020. № 271. P. 121797.

### References

1. Kamizela T., Kowalczyk M. Impact of conditioning substances and filtration pressure on dewatering efficiency of sewage. *Energies*, 2021, no. 14, p. 361.
2. Maa Y., Liua Y. Turning food waste to energy and resources towards a great environmental and economic sustainability: An innovative integrated biological approach. *Biotechnol. Adv.*, 2019, no. 37, p. 107414.
3. Wójcik M., Stachowicz F. Influence of physical, chemical and dual se-wage sludge conditioning methods on the dewatering efficiency. *Powder Technol.*, 2019, no. 344, pp. 96–102.
4. Wu B., Dai X., Chai X. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water Res.*, 2020, no. 180, p. 115912.
5. Bie'n B., Bie'n J. Dewatering of sewage sludge treated by the combination of ultrasonic field and chemical methods. *Desalin. Water Treat.*, 2020, no. 199, pp. 72–78.
6. Chen C., Zhang P., Yan M. Enhancement of cationic polyacrylamide conditioning of sewage sludge with modified coal fly ash. *Desalin. Water Treat.*, 2018, no. 133, pp. 55–63.
7. Zhu C., Zhang P., Wang H., Ye J. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability. *Ultrason. Sonochem.*, 2018, no. 40, pp. 353–360.
8. Bie'n B. The influence of conditioning on the quality of reject water after sewage sludge mechanical dewatering. *Proc. ECOpole.*, 2017, no. 11, pp. 471–478.
9. Chen Y., Baygents J. C., Farrell J. Evaluating electrocoagulation and chemical coagulation for removing dissolved silica from high efficiency reverse osmosis (HERO) concentrate solutions. *Journal of Water Process Engineering*, 2017, no. 36, pp. 50–55.

10. Chen, N., Liu, W., Huang, J., Qiu, X. Preparation of octopus-like lignin-grafted cationic polyacrylamide flocculant and its application for water flocculation. *International Journal of Biological Macro-molecules*, 2020, no. 146, pp. 9–17.

11. Hasan A., Fatehi P. Cationic kraft lignin-acrylamide copolymer as a flocculant for clay suspensions: 2. Charge density effect. *Separation and Purification Technology*, 2019, no. 107, pp. 963–972.

12. He W., Zhang Y., Fatehi P. Sulfomethylated kraft lignin as a flocculant for cationic dye. *Colloids and Surfaces. Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, no. 503, pp. 19–27.

13. Liu, X., Tian, C., Sun, W., Zhao, Y., Shih, K. Secondary effluent purification towards reclaimed water production through the hybrid post-coagulation and membrane distillation technology: A preliminary test. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 271, pp. 121797.

### Информация об авторах

**Е. В. Ульрих** – доктор технических наук, доцент, заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем, профессор кафедры производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции

**А. С. Баркова** – доктор ветеринарных наук, доцент, заведующая кафедрой производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции

### Information about the authors

**E. V. Ulrikh** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems, Professor of the Department of Production and Quality Assessment of Agricultural Products

**A. S. Barkova** – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Production and Quality Assessment of Agricultural Products

Статья поступила в редакцию 26.06.2022; одобрена после рецензирования 07.07.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 26.06.2022; approved after reviewing 07.07.2022; accepted for publication 15.07.2022

# **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



Научная статья

УДК 637.522

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-67-77

**Изучение влияния пищевых растительных компонентов на структурно-механические показатели фарша из мяса бобра речного (*Castor fiber*)**

Дмитрий Леонидович Альшевский<sup>1</sup>, Фаина Сергеевна Карнеева<sup>2</sup>,  
Евгения Валерьевна Микшта<sup>3</sup>, Марина Николаевна Альшевская<sup>4</sup>,  
Юрий Викторович Мастюгин<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>5</sup>Колледж мехатроники и пищевой индустрии, Калининградская область, Светлый, Россия

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

<sup>2</sup>faina.karneeva@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9487-7756>

<sup>3</sup>zhenyaavdeevaa99@mail.ru

<sup>4</sup>marina.alshevskaya@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>

<sup>5</sup>silter@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9057-6035>

**Аннотация.** Увеличение численности бобра речного (*Castor fiber*) в Калининградской области обусловило необходимость принятия мер по ее регулированию. Мясо бобров употребляют в пищу во многих странах, оно используется для производства мясной продукции, в том числе консервов и колбасных изделий, качество которых зависит не только от показателей безопасности и пищевой ценности сырья, но и от его реологических свойств и способности фарша к формованию. Для повышения пищевой ценности, органолептических показателей и расширения ассортимента колбасных изделий применяются пищевые растительные компоненты (тыквенный шрот, капустный порошок, смесь пищевых волокон пшеницы и подорожника). В работе изучено их влияние на влагоудерживающую способность (ВУС), глубину погружения пенетromетра, предельное напряжение сдвига (ПНС), эффективную вязкость и адгезионные свойства фарша из мяса бобра. Во всех образцах фаршей с добавлением растительных компонентов показатель ВУС превысил значение показателя контрольного (50,75 %), что обусловило более сочную и плотную консистенцию и меньшие потери влаги фарша при тепловой обработке. Наибольшей сдвиговой прочностью и наименьшей вязкостью обладал образец с добавлением растительных волокон пшеницы и подорожника (488,5 Па и 15740,7 МПа·с соответственно), тогда как внесение тыквенного шрота и капустного порошка по сравнению с контрольным практически не повлияло на ПНС, а вязкость фарша возросла. Липкость фарша с добавлением растительных компонентов, характеризуемая адгезионными свойствами в виде усилия отрыва, изменилась незначительно по сравнению с контрольным образцом (0,359 кПа). Выявлено, что наилучшими структурно-механическими свойствами обладал образец фарша с внесением смеси пищевых волокон пшеницы и подорожника.

---

© Альшевский Д. Л., Карнеева Ф. С., Микшта Е. В., Альшевская М. Н., Мастюгин Ю. В., 2022

**Ключевые слова:** мясо бобра, пищевые растительные компоненты, реологические характеристики, влагоудерживающая способность, предельное напряжение сдвига, эффективная вязкость, адгезионные свойства

**Для цитирования:** Альшевский Д. Л., Карнеева Ф. С., Микшта Е. В., Альшевская М. Н., Мастюгин Ю. В. Изучение влияния пищевых растительных компонентов на структурно-механические показатели фарша из мяса бобра речного (Castor fiber) // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 67–77.

Original article

### **Study of the influence of food plant components on the structural and mechanical parameters of minced river beaver (Castor fiber) meat**

**Dmitriy L. Al'shevskiy<sup>1</sup>, Faina S. Karneeva<sup>2</sup>, Evgeniya V. Mikshta<sup>3</sup>, Marina N. Al'shevskaya<sup>4</sup>, Yuriy V. Mastyugin<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>5</sup>College of Mechatronics and Food Industry, Kaliningrad region, Svetlyi, Russia

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

<sup>2</sup>faina.karneeva@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9487-7756>

<sup>3</sup>zhenyaavdeevaa99@mail.ru

<sup>4</sup>marina.alshevskaya@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>

<sup>5</sup>silter@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9057-6035>

**Abstract.** An increased number of river beaver (Castor fiber) in the Kaliningrad region necessitated the adoption of measures to regulate it. The use of beaver meat for the production of meat products, including sausage products, is one of the ways of processing seized animal carcasses. The quality of sausage products depends not only on safety indicators and nutritional value, but also on rheological properties and an ability to form minced meat. Vegetable components are used to increase the nutritional value, organoleptic parameters and expand the range of sausage products. The paper examines the effect of food plant components (pumpkin meal, cabbage powder, a mixture of wheat and psyllium dietary fibers) on the water-holding capacity, the depth of immersion of the penetrometer, the ultimate shear stress, the effective viscosity and adhesive properties of minced beaver meat. In all samples of minced meat with the addition of vegetable components, the water-holding capacity exceeded the water-holding capacity of the control sample (50.75 %), which led to a more juicy and dense consistency and less moisture loss of the minced meat during heat treatment. A sample with the addition of wheat and plantain plant fibers had the highest shear strength and the lowest viscosity (488.5 Pa and 15740.7 MPa\*s, respectively). Whereas the addition of pumpkin meal and caster powder in comparison with the control sample practically did not affect the ultimate shear stress, and the viscosity of the minced meat increased. The stickiness of minced meat with the addition of vegetable components, characterized by adhesive properties in the form of a separation force, changed slightly compared to the control sample (0.359 kPa). It has been revealed that a sample of minced meat with the addition of a mixture of wheat and plantain dietary fibers has the best structural and mechanical properties.

**Keywords:** beaver meat, food plant components, rheological characteristics, water-holding capacity, ultimate shear stress, effective viscosity, adhesive properties

**For citation:** Al'shevskiy D. L., Karneeva F. S., Mikshita E. V., Al'shevskaya M. N., Mastyugin Yu. V. Study of the influence of food plant components on the structural and mechanical parameters of minced river beaver (*Castor fiber*) meat // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):67–77.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Мясо бобра давно употребляется человеком в пищевых целях. При переработке используются в основном мышечные части тушки, особенно бедро, которое является самой крупной частью составляющей бобра (66,7 % от мяса тушки) [1]. Переработка осуществляется частным образом, ассортимент продукции представлен в основном колбасными изделиями и консервами.

В настоящее время в Калининградской области речной бобр (*Castor fiber*) признан вредным животным, и его численность подлежит регулированию. Количество грызунов уже превышает 6 тыс. особей, тогда как нормой для региона является 1–2 тыс. [2]. По причине отсутствия естественных врагов охота (отстрел) остается единственным способом регулирования численности и минимизирования причиняемого бобрами вреда [3].

Мясо бобра характеризуется отличным качеством и нежным вкусом, а его химический состав – высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (половина из которых –  $\omega$ ), белка, а также витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub> [4–7].

Колбасные изделия относятся к наиболее востребованной группе мясных продуктов. Важными составляющими качества готовой колбасной продукции являются не только показатели безопасности, пищевая ценность и органолептическая оценка, но и реологические свойства, характеризующие структуру и консистенцию изделия. Поэтому существует необходимость в изучении прочностных характеристик фаршевого сырья из мяса бобра, применяемого в дальнейшем для изготовления колбас.

В мясной промышленности при производстве колбасных изделий используется широкий ассортимент пищевых добавок, влияющих на структурно-механические характеристики, выход готовой продукции, органолептические показатели готовых изделий. Чаще всего для корректировки реологических свойств колбасных изделий применяются структурообразователи, связывающие большое количество воды, увеличивающие вязкость продукта, способствующие образованию стойких суспензий. Однако в последнее время все большее распространение приобретает использование пищевых растительных компонентов, которые могут выступить в качестве наполнителя, оказывая влияние на выход готовой продукции, улучшая ее текстуру и структуру, а также повышая пищевую ценность [8]. Следовательно, является актуальным исследование реологических свойств фаршей из мяса бобра с добавлением растительных наполнителей.

Цель данного исследования – изучение влияния пищевых растительных компонентов на структурно-механические показатели фарша из мяса бобра речного (*Castor fiber*).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлся речной бобр (*Castor fiber* Linnaeus, 1758). Добыча животного происходила в установленный сезон охоты в 2021 г. в Калининградской области. Возраст грызуна соответствовал приблизительно двум годам, вес одной особи составлял  $18 \pm 1$  кг.

Показатели безопасности тушки бобра соответствовали Техническому регламенту таможенного союза ТР ТС 021/2021 "О безопасности пищевой продукции" и Правилам ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизе мяса и мясных продуктов.

Химический состав мышечной ткани бобра характеризовался следующими показателями: массовая доля белка – 20,2, жира – 5,1 и влаги – 74,7 %. Для лабораторных исследований использовалась мышечная ткань задней части тушки.

В качестве растительных пищевых компонентов применялись шрот тыквенный, произведенный по ТУ 10.61.22-011-19683697-2020 ООО "Поздний завтрак лайф", пищевой ингредиент "Натурал Инжект S", включающий в свой состав растительные волокна пшеницы и подорожника (изготовленный ZALTECH International GmbH), и капустный порошок, изготовленный на кафедре технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета [9].

Для приготовления образцов дефростированное мясо бобра измельчалось в мясорубке с диаметром отверстий решетки 4 мм. Из фарша формировались образцы с добавлением растительных компонентов массой в соответствии с рецептурами, представленными в табл. 1.

Таблица 1. Процентное соотношение пищевых растительных компонентов относительно массы фарша мышечной ткани бобра

Table 1. Combinations of food plant components relative to the mass fraction of minced beaver muscle tissue

Компонент рецептуры	Номер рецептуры			
	1	2	3	4
	Контроль			
	Соотношение компонентов, %			
Фарш из мышечной ткани бобра	100	85	85	85
Шрот тыквенный	–	15	–	–
Капустный порошок	–	–	15	–
"Натурал Инжект S"	–	–	–	15
<i>Итого</i>	100	100	100	100

Для изучения влияния пищевых растительных компонентов на структурно-механические свойства в приготовленных образцах определялись следующие характеристики: изменение влагоудерживающей способности (ВУС), глубина погружения конуса пенетрометра и изменение предельного напряжения сдвига (ПНС), динамика изменений эффективной вязкости в зависимости от градиента скорости сдвига, адгезионные свойства в виде усилия отрыва.

Глубина погружения пенетрометра и ПНС определялись в соответствии с ГОСТ Р 50814-95 ручным переносным малогабаритным пенетрометром ППМ-4.

Эффективную вязкость измеряли на ротационном вискозиметре "Брукфильда DV-II + Pro".

Для определения адгезии использовали адгезиометр, действующий по принципу отрыва. Для анализа задействовали пластины из нержавеющей стали площадью 0,000484 м<sup>2</sup>. Образец адгезива перед отрывом от пластины подвергался подпрессовыванию при нагрузке 1 кг в течение 5 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фаршевые смеси с показателем ВУС выше 50 % характеризуются высокими органолептическими показателями по сочности и нежности и минимальными потерями влаги при тепловой обработке [10]. В табл. 2 показано влияние вносимых растительных компонентов на ВУС образцов фаршей.

Таблица 2. Влагоудерживающая способность фаршей из мяса бобра с добавлением растительных компонентов

Table 2. Water-holding capacity of minced beaver meat with the addition of vegetable components

Добавка в образце фарша	ВУС, %	$\varepsilon$ , %
Контроль	50,75±0,35	0,69
Шрот тыквенный	59,90±0,40	0,67
Капустный порошок	54,45±0,25	0,46
"Натурал Инжект S"	60,68±0,36	0,59

Из табл. 2 видно, что добавление растительных компонентов увеличивает показатель ВУС по сравнению с контрольным образцом (50,75 %). Образцы фаршей из мяса бобра с добавлением тыквенного шрота и "Натурал Инжект S" характеризуются наибольшим показателем ВУС, который составил 59,90 и 60,68 % соответственно. Использование капустного порошка не оказало влияние на этот показатель.

В табл. 3 и на рис. 1 представлено изменение сдвиговой прочности образцов фаршей в зависимости от добавляемых растительных компонентов, характеризующейся показателями глубины погружения пенетрометра и ПНС.

Из табл. 3 и рис. 1 следует, что добавление капустного порошка уменьшило упруго-пластические свойства фарша по сравнению с контрольным образцом (глубина погружения конуса составила 25,0 мм и ПНС – 319,1 Па, тогда как в контрольном образце она была 23,2 мм, а ПНС – 370,5 Па). Наиболее высокая сдвиговая прочность и наименьшая глубина погружения у образца фарша с добавлением "Натурал Инжект S" – 488,5 Па и 20,2 мм соответственно.

Таблица 3. Глубина погружения конуса пенетрометра в образцах фаршей из мяса бобра с добавлением растительных компонентов  
 Table 3. Penetrometer cone immersion depth in beaver minced meat samples with added vegetable components

Образец	Показатель	Время, с					
		5	10	15	30	60	180
Контроль	l, мм	18,5±0,6	19,3±0,8	20,2±1,0	21,2±1,0	22,2±1,1	23,2±0,8
	ε, %	3,5	4,0	4,7	4,9	4,9	3,6
Шрот тыквенный	l, мм	17,2±0,3	19,0±0,4	19,6±0,5	20,4±0,6	21,3±0,5	22,8±0,1
	ε, %	1,6	2,0	2,4	2,8	2,2	0,4
Капустный порошок	l, мм	20,1±0,7	21,0±0,6	21,7±0,7	22,7±0,8	23,6±0,8	25,0±1,0
	ε, %	3,5	3,1	3,3	3,3	3,3	4,2
"Натурал Инжект S"	l, мм	16,0±0,5	17,1±0,5	17,6±0,6	18,4±0,6	19,2±0,7	20,2±0,9
	ε, %	3,3	3,1	3,2	3,3	3,7	4,5

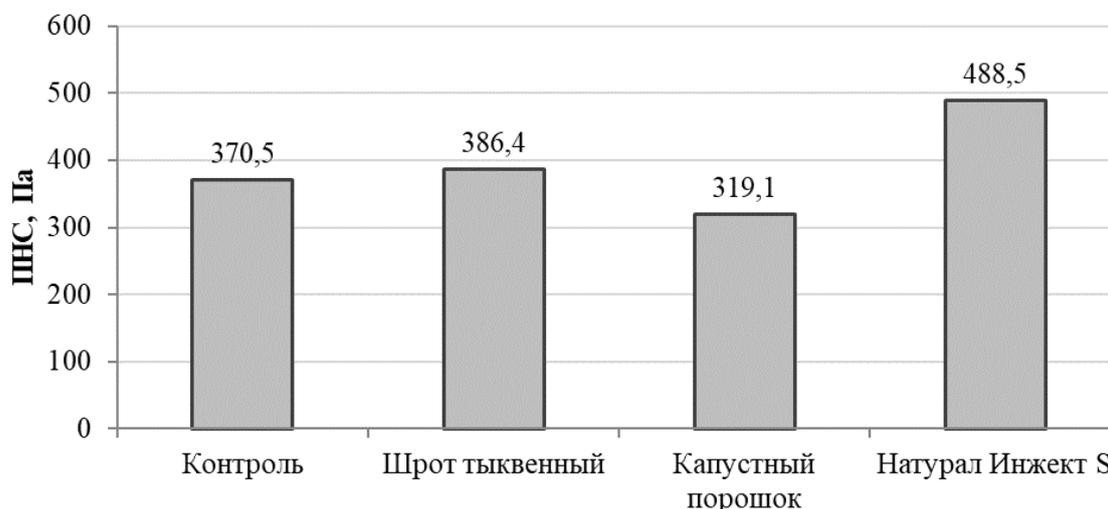


Рис. 1. Изменение ПНС образцов фаршей из мяса бобра с добавлением растительных компонентов

Fig. 1. Change in ultimate shear stress of minced beaver meat samples with the addition of vegetable components

Показатель вязкости представляет собой характеристику продукта, которая описывает равновесное состояние между процессами восстановления и разрушения структуры в установившемся потоке. Вязкость фаршевых смесей влияет на появление бульонных или жировых отеков при последующей термической обработке изделий. Результаты измерения эффективной вязкости образцов фарша из мяса бобра с добавлением растительных компонентов приведены на рис. 2.

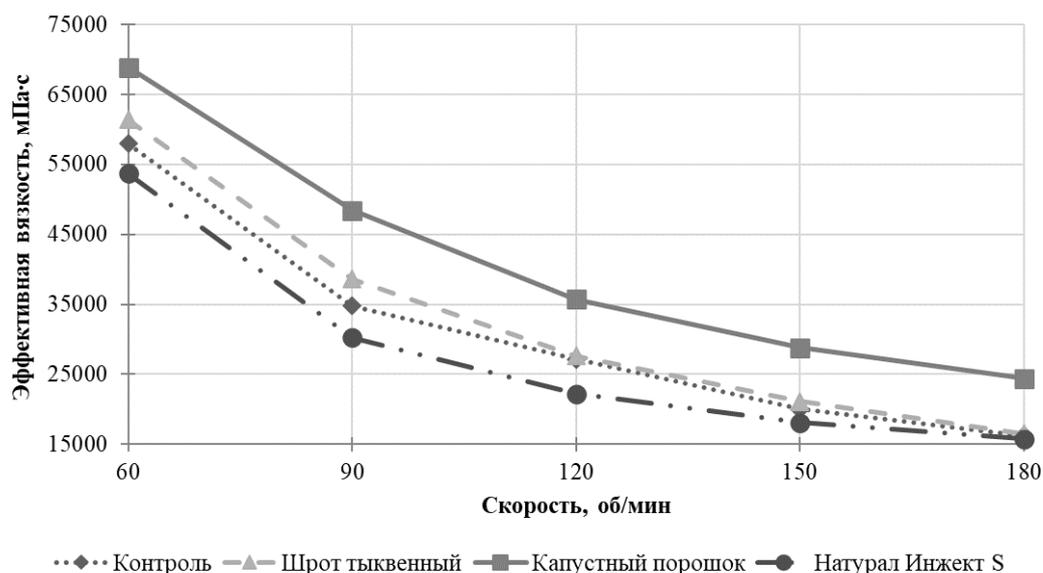


Рис. 2. График изменения эффективной вязкости в зависимости от скорости в образцах фаршей из мяса бобра с добавлением растительных компонентов  
Fig. 2. Graph of change in effective viscosity depending on the velocity gradient in samples of minced meat from beaver meat with the addition of vegetable components

На рис. 2 видно, что наиболее вязким является образец с добавлением капустного порошка. Использование тыквенного шрота незначительно увеличивает эффективную вязкость фарша бобра по сравнению с контрольным образцом. Наименьшая эффективная вязкость у образца с внесенным "Натурал Инжект S".

Адгезия (липкость) характеризует свойство мясных фаршей сцепляться с поверхностью. Она играет важную роль в различных технологических процессах, где существует контакт между продуктом и поверхностью обрабатывающей машины, и, как правило, нежелательна. Адгезионные свойства в образцах фаршей с добавлением растительных компонентов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Адгезионные свойства в виде усилия отрыва образцов фаршей из мяса бобра с добавлением растительных компонентов

Table 4. Adhesive properties in the form of force of separation of minced meat samples from beaver meat with the addition of vegetable components

Образец	Адгезионное напряжение, кПа	Относительная погрешность $\epsilon$ , %
Контроль	0,359±0,014	3,965
Шрот тыквенный	0,350±0,010	2,860
Капустный порошок	0,367±0,011	3,088
"Натурал Инжект S"	0,363±0,015	4,224

Исходя из табл. 4, можно заключить, что показатели адгезии образцов с добавлением растительных компонентов относительно контрольного отличались незначительно. Наибольшая липкость у фарша с добавлением капустного порошка (приложенное усилие отрыва составило 0,367 кПа). Наименьшее усилие отрыва

потребовалось для образца с добавлением тыквенного шрота и составило 0,350 кПа.

Влияние растительных компонентов на органолептические показатели (консистенция и внешний вид) фаршей до и после тепловой обработки показано на рис. 3.



Рис. 3. Образцы фарша из мяса бобра с добавлением растительных компонентов до термической обработки (а) и после (б):  
№ 1 – контрольный образец; № 2 – образец с добавлением тыквенного шрота;  
№ 3 – образец с добавлением капустного порошка; № 4 – образец с добавлением "Натурал Инжект S"

Fig. 3. Samples of minced beaver meat with the addition of vegetable components before heat treatment (a) and after heat treatment (b): № 1 – control sample;  
№ 2 – sample with the addition of pumpkin meal; № 3 – sample with the addition of cabbage powder; № 4 – sample with the addition of the additive "Natural Injection S"

Контрольный и образец с добавлением капустного порошка имеют более влажную поверхность и рыхлую, крошащуюся консистенцию по сравнению с другими образцами, что коррелирует с низкими показателями их ВУС (50,75 и 54,45 % соответственно), более низкой сдвиговой прочностью (370,5 и 319,1 Па), в то время как образцы с внесением тыквенного шрота и "Натурал Инжект S" обладают плотной, упругой и сочной консистенцией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены структурно-механические показатели фарша из мяса бобра. Реологические свойства образцов характеризуются хорошей влагоудерживающей способностью – 50,75 %, предельное напряжение сдвига составило 370,5 Па, эффективная вязкость – 16216,8 мПа·с, а адгезивные свойства – 0,359 кПа. Полученные результаты говорят о хорошей формуемости данного фарша и его способности удерживать влагу.

Показано влияние натуральных растительных компонентов (тыквенный шрот, капустный порошок и смесь пищевых волокон подорожника и пшеницы) на реологические свойства фарша из мяса бобра речного (Castor fiber). Установлено, что образец последнего с добавлением растительного пищевого компонента "Натурал Инжект S", состоящего из смеси пищевых волокон пшеницы и подо-

рожника, отличался наилучшими структурно-механическими свойствами по сравнению с образцами с внесением тыквенного шрота и капустного порошка (показатели ВУС, ПНС и вязкость 60,68 %, 488,5 Па и 15740,7 МПа·с соответственно), что обосновывает целесообразность его добавления в рецептуру колбасных изделий.

#### Список источников

1. Jankowska B., Żmijewski T., Kwiatkowska A., Korzeniowski W. The composition and properties of beaver (Castor fiber) meat // *European Journal of Wildlife Research*. 2005. V. 51 N. 4. P. 283–286.
2. Медведева Е. Вредный зверь: надо ли истреблять бобров в Калининградской области. URL: <https://klops.ru/news/obschestvo/147796-vrednyy-zver-nado-li-istrebyat-bobrov-v-kaliningradskoj-oblasti> (дата обращения: 17.11.2021).
3. Приказ Минприроды России от 30 апреля 2010 года N 138 "Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях" (с изменениями на 11 января 2017 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902215390> (дата обращения: 10.11.2021).
4. Обоснование способа отделения кожной поверхности хвоста бобра от его липидно-белковой части / Ю. В. Мастюгин, Д. Л. Альшевский, Ю. Н. Коржавина, А. Кошкина // *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2022. № 64. С. 95-108.
5. Митренков А. М., Бузо О. Л. Ценность мяса бобра речного // *Труды БГТУ*. 2016. № 1. С. 264-268.
6. Strazdina V., Sterna V., Jemeljanovs A. Investigation of beaver meat obtained in Latvia // *Agronomy Research*. 2015. V. 13. N. 4. P. 1096–1103.
7. Florek M., Drozd L., Skatecki P. Proximate composition and physicochemical properties of European beaver (Castor fiber L.) meat // *Meat Science*. 2017. V. 123. P. 8-12.
8. Альшевская М. Н., Анистратова О. В., Баранаускас В. А. Совершенствование технологии производства цельнокусковых мясных продуктов из свинины с применением бамбуковых пищевых волокон // *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2021. № 63. С. 45-58.
9. Типсина Н. Н., Ташлыкова Е. Е. Использование белокочанной капусты в пищевой промышленности // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2010. № 11. С. 176-181.
10. Борисочкина Л. И., Будина В. Г. Производство вареных рыбных колбасок // *Экспресс-инфор. ЦНИИТЭИРХ*. 1998. № 8. С. 1-10.

#### References

1. Jankowska B., Żmijewski T., Kwiatkowska A., Korzeniowski W. The composition and properties of beaver (Castor fiber) meat. *European Journal of Wildlife Research*, 2005, vol. 51, no. 4, pp. 283–286.

2. Medvedeva E. Vrednyy zver': nado li istreblyat' bobrov v Kaliningradskoy oblasti. Available at: <https://klops.ru/news/obschestvo/147796-vrednyy-zver-nado-li-istreblyat-bobrov-v-kaliningradskoy-oblasti> (Accessed 17 November 2021).

3. Prikaz Minprirody Rossii ot 30 aprelya 2010 goda N 138 "Ob utverzhdenii normativov dopustimogo iz'yatiya okhotnich'ikh resursov i normativov chislennosti okhotnich'ikh resursov v okhotnich'ikh ugod'yakh" (s izmeneniyami na 11 yanva-rya 2017 goda). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902215390> (Accessed 10 November 2021).

4. Mastyugin Yu. V., Al'shevskiy D. L., Korzhavina Yu. N., Koshkina A. Obosnovanie sposoba otdeleniya kozhnoy poverkhnosti khvosta bobra ot ego lipidno-belkovoy chasti [Substantiation of the method for separating the skin surface of the beaver tail from its lipid-protein part]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022, no. 64, pp. 95–108.

5. Mitrenkov A. M., Buzo O. L. Tsennost' myasa bobra rechnogo [River beaver meat value]. *Trudy BGTU*, 2016, no. 1, pp. 264–268.

6. Strazdina V., Sterna V., Jemeljanovs A. Investigation of beaver meat obtained in Lat-via. *Agronomy Research*. 2015, vol. 13, no. 4, pp. 1096–1103.

7. Florek M., Drozd L., Skatecki P. Proximate composition and physicochemical properties of European beaver (*Castor fiber L.*) meat. *Meat Science*. 2017, vol. 123, pp. 8–12.

8. Al'shevskaya M. N., Anistratova O. V., Baranauskas V. A. Sovershenstvo-vanie tekhnologii proizvodstva tsel'nokuskovykh myasnykh produktov iz svininy s primeneniem bambukovykh pishchevykh volokon [Improvement of the production technology of whole piece meat products from pork using bamboo fiber]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 63, pp. 45–58.

9. Tipsina N. N., Tashlykova E. E. Ispol'zovanie belokochannoy kapusty v pishchevoy promyshlennosti [The use of white cabbage in the food industry]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, no. 11, pp. 176–181.

10. Borisochkina L. I., Budina V. G. Proizvodstvo varenykh rybnykh kolbasok [Production of boiled fish sausages]. *Ekspress-infor. TSNITEIRKH*, 1998, vol. 8, pp. 1–10.

### Информация об авторах

**Д. Л. Альшевский** – кандидат технических наук, доцент кафедры "Технология продуктов питания"

**Ф. С. Карнеева** – аспирант кафедры "Технология продуктов питания"

**Е. В. Микшта** – магистрант кафедры "Технология продуктов питания"

**М. Н. Альшевская** – кандидат технических наук, доцент кафедры "Технология продуктов питания"

**Ю. В. Мастюгин** – преподаватель специальных дисциплин по специальности "Технология мяса и мясных продуктов", аспирант кафедры "Технология продуктов питания"

**Information about the authors**

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

**F. S. Karneeva** – PhD student of the Department of Food Technology

**E. V. Mikshta** – 1st year undergraduate student of the Department of Food Technology

**M. N. Al'shevskaya** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology

**Yu. V. Mastuygin** – teacher of special disciplines in "Technology of meat and meat products", PhD student of the Department of Food Technology

Статья поступила в редакцию 25.05.2022; одобрена после рецензирования 28.05.2022; принята к публикации 31.05.2022

The article was submitted 25.05.2022; approved after reviewing 28.05.2022; accepted for publication 31.05.2022

Научная статья

УДК 621.65:637.1.02

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-78-88

### Критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами

Наталья Равиловна Ахмедова<sup>1</sup>, Оксана Игоревна Левичева<sup>2</sup>, Владимир Аркадьевич Наумов<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>2</sup>ООО "Балтфармацевтика", Багратионовск, Россия

<sup>1</sup>isfendi@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3483-3580>

<sup>2</sup>levicheva@bk.ru

<sup>3</sup>van-old@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

**Аннотация.** На предприятиях пищевой промышленности для перекачки рабочих сред применяют насосы различных типов. Вихревые насосы (ВН) могут работать с широким ассортиментом продуктов, которые не содержат твердые примеси и могут создавать большой напор при сравнительно невысокой подаче. Рекомендуется использовать ВН с большими значениями торцевого зазора между рабочим колесом и корпусом, имеющими линейную напорную характеристику. Уменьшение зазора может привести к засорению агрегата и усложнению его промывки в межоперационный период. Производители ВН в открытом доступе размещают характеристики насосов в размерной форме и, как правило, только зависимость напора от подачи. Расчеты, выполненные на основании результатов испытаний АО ГМС "Ливгидромаш", позволили определить критерии подобия для рассматриваемых насосных установок и исследовать их влияние на рабочие характеристики. Установлено, что для всех анализируемых ВН линейные нагрузочные характеристики (зависимость подача–напор) являются подобными; для характеристик подача–затраченная мощность установлен один критерий подобия ( $\theta$ ), для коэффициента полезного действия (КПД) – два критерия ( $\theta$ ,  $K$ ). Критериями подобия при определении подачи и напора в рабочей точке являются две безразмерные величины ( $a$ ,  $h_c$ ), с увеличением которых безразмерная подача падает, а напор возрастает. Для безразмерной мощности в рабочей точке установлены три критерия подобия ( $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$ ), для КПД – четыре ( $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$ ,  $K$ ). Увеличение критериев  $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$  приводит к росту безразмерной затраченной мощности в рабочей точке и уменьшению КПД. Рост КПД происходит только при увеличении значения  $K$ .

**Ключевые слова:** вихревые насосы, нагрузочные характеристики, подача, напор, мощность, КПД, рабочая точка, критерии подобия

**Для цитирования:** Ахмедова Н. Р., Левичева О. И., Наумов В. А. Критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 78–88.

Original article

### Similarity criteria of units for pumping low-viscosity food liquids by peripheral pumps

Natal'ya R. Akhmedova<sup>1</sup>, Oksana I. Levicheva<sup>2</sup>, Vladimir A. Naumov<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup> Baltfarmatsevtika LLC, Bagrationovsk, Russia

**Abstract.** Various types of pumps are used at food industry enterprises for pumping processing media. Perifirium pumps (PP) can work with a wide range of products that do not contain solid impurities and can create a large pressure at a relatively low flow rate. It is recommended to use PP with large values of the end gap between the impeller and the housing, having a linear pressure characteristic. Reducing the gap can lead to clogging of the unit and complicating its flushing between operations. Manufacturers of PP in the open access place the characteristics of pumps in dimensional form and, as a rule, only the dependence of the pressure on the flow rate. Calculations performed on the basis of the test results of JSC HMS "Livgidromash" have made it possible to determine the similarity criteria for the pumping units under consideration and to investigate their impact on performance characteristics. It has been established that for all the considered PP, the linear load characteristics (flow-head dependence) are similar; for the flow-power characteristics, one similarity criterion ( $\theta$ ) has been defined, when determining the efficiency (efficiency), two criteria ( $\theta$ ,  $K$ ) have been defined. The similarity criteria for determining the flow and pressure at the working point are two dimensionless quantities ( $a$ ,  $h_c$ ), with an increase in which the dimensionless flow decreases and the pressure increases. When determining the dimensionless power at the working point, three similarity criteria have been established ( $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$ ), when determining the efficiency- four ( $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$ ,  $K$ ). An increase in the criteria  $a$ ,  $h_c$ ,  $\theta$  leads to an increase in the dimensionless power expended at the working point and a decrease in efficiency. The increase in efficiency occurs only with an increase in the  $K$  value.

**Keywords:** peripheral pumps, load characteristics, liquid consumption, head, power, efficiency, operating point, similarity criteria

**For citation:** Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A. Similarity criteria of units for pumping low-viscosity food liquids by peripheral pumps. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):78–88.(in Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Проектирование технологических трубопроводов – наиболее сложный этап при создании или модернизации предприятий пищевой промышленности. Гидравлический расчет трубопроводной системы, используемой для транспортирования пищевых сред, является многовариантной задачей (см. [1–3] и библиографию в них).

При выполнении гидравлических расчетов авторы редко учитывают нагрузочные характеристики насосов. Например, в [3] предложена методика оптимизации технологических трубопроводов по технико-экономическим показателям, основанная на результатах вычислительных экспериментов. В данной работе совершенно справедливо установлено, что при увеличении диаметра трубопровода

возрастают капитальные затраты и снижаются эксплуатационные, при выполнении расчетов не учитывалось, что значение КПД насоса меняется из-за уменьшения напора.

Необходимой частью в технологических процессах пищевых производств являются насосы. Известно, что при одинаковых габаритах и частоте вращения рабочего колеса (РК) напор ВН в несколько раз больше, чем у центробежных насосов [4, 5]. Это позволяет проектировать и использовать ВН значительно меньших размеров по сравнению с центробежными. Достоинством ВН является также и то, что они обладают самовсасывающей способностью, а недостатками – невысокий КПД и быстрый износ деталей при работе с жидкостями, содержащими твердые частицы.

В пищевой промышленности ВН могут работать с широким ассортиментом продуктов, не содержащих твердые примеси, например, в виноделии и производстве масел, а также в перекачивании молочных продуктов. Все части ВН, вступающие в контакт с пищевыми продуктами, изготавливают из специальных материалов, например, ВН компании Inoxmim FL-AL – из нержавеющей стали AISI 316 [6].

В англоязычных источниках ВН называют периферийным (peripheral pumps), так как РК ВН представляет собой плоский диск с короткими радиальными лопатками, расположенными на периферии РК (изображен в правом верхнем углу рис. 1). В корпусе имеется кольцевая полость, в которую входят лопатки РК. Внутренний уплотняющий выступ, плотно примыкая к наружным торцам и боковым поверхностям лопаток, разделяет всасывающий и напорный патрубки. В [7] было установлено, что уменьшение торцевого зазора  $\delta$  между РК и корпусом приводит к увеличению напора  $H$ . Причем при больших  $\delta$  характеристика подача–напор ( $Q-H$ ) имеет вид прямой, а при малых  $\delta$  – становится нелинейной.

Использование для транспортировки жидких пищевых продуктов ВН с уменьшенным торцевым зазором нецелесообразно. Это может привести к засорению агрегата и усложнению его промывки в межоперационный период. Следовательно, позволительно рекомендовать использовать в пищевой промышленности ВК с линейной характеристикой ( $Q-H$ ). Такие характеристики ВК компании Pedrollo SPA [8] показаны на рис. 1.

В настоящее время имеется большое количество фирм-производителей, как российских, так и зарубежных [6, 8–11], производящих ВН с большим напором и сравнительно невысокой подачей. В табл. 1 приведены технические параметры ВН, выпускаемых компанией [10]. Все испытания проводились на чистой воде при 20 °С.

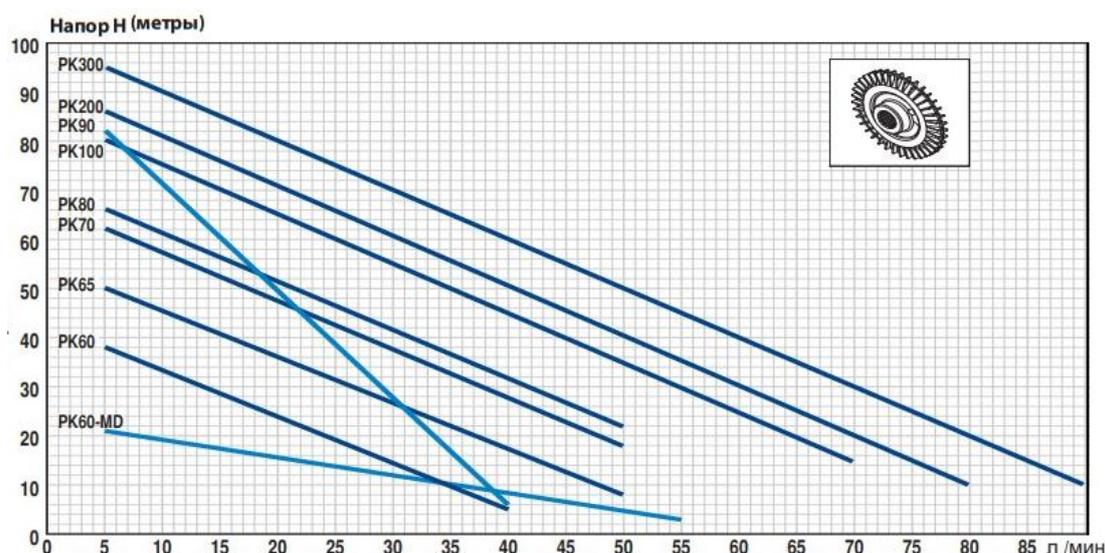


Рис. 1. Напорные характеристики вихревых насосов компании Pedrollo SPA [8]  
 Fig. 1. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps head characteristics [8]

Таблица 1. Технические параметры вихревых насосов компании Leo [10]  
 Table 1. Technical parameters of Leo Company peripheral pumps [10]

Параметры	Марка насоса					
	APm30	APm37	APm60	APm75	APm110	APm150
$N_E$ , кВт	0,30	0,37	0,60	0,75	1,0	1,5
$H_0$ , м	30	40	60	75	85	90
$Q_m$ , м <sup>3</sup> /час	2,1	2,4	3,0	3,0	4,2	4,8

Примечание:  $Q_m$ ,  $H_0$  – наибольшие значения подачи и напора, соответственно;  $N_E$  – мощность электродвигателя.

Результаты большинства исследований характеристик ВН опубликованы лишь в размерной форме ([7, 12, 13] и библиография в них). Одну из немногих попыток использовать безразмерную форму в [14] вряд ли можно считать удачной, так как рабочая точка насосной установки не была рассмотрена, критерии подобия – не найдены. Цель статьи – определить критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами и исследовать их влияние на рабочие характеристики.

## 1. БЕЗРАЗМЕРНЫЕ НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Большинство компаний приводит в технической документации только напорные характеристики ВН, как на рис. 1. Здесь воспользуемся результатами испытаний АО ГМС "Ливгидромаш" [9], которые включают не только напорную характеристику, но и затраченную мощность и КПД (точки на рис. 2 и 3). В отличие от центробежных насосов, затраченная мощность ВН снижается с ростом подачи (рис. 3b).

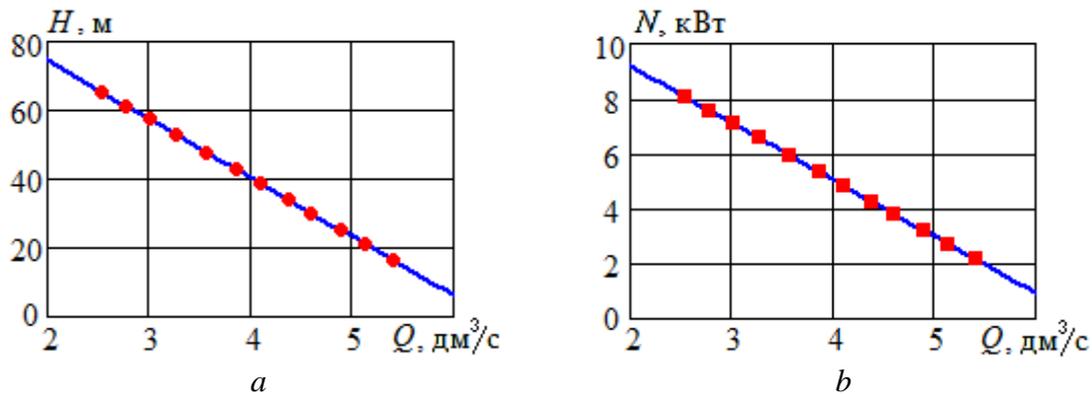


Рис. 2. Нагрузочные характеристики насоса ВК-5/24: *a* – напор; *b* – мощность. Точки – экспериментальные данные [9], линии – расчет по формулам (1.1)  
 Fig. 2. Load characteristics of the BK-5/24 pump: *a* – head; *b* – power. Points are experimental data [9], lines are calculation according to formulas (1.1)

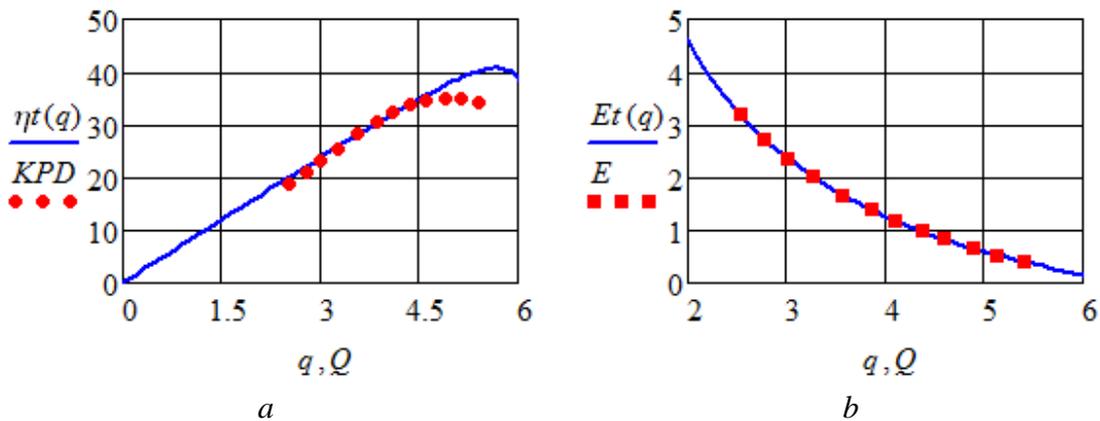


Рис. 3. Показатели энергетической эффективности насоса ВК-5/24: *a* – напор; *b* – мощность. Точки – экспериментальные данные [9], линии – расчет по формулам (1.4), (1.5)  
 Fig. 3. Indicators of the energy efficiency of the BK-5/24 pump: *a* – head; *b* – power. Points are experimental data [9], lines are calculation according to formulas (1.4), (1.5)

Уравнения рабочих характеристик ВН, применяемых в пищевой промышленности, как правило, могут быть аппроксимированы прямыми линиями:

$$H \equiv f_1(Q) = H_0 - \alpha Q, \quad N \equiv f_2(Q) = N_0 - \beta Q, \quad (1.1)$$

где константы  $H_0$ ,  $\alpha$ ,  $N_0$ ,  $\beta$  определяются по результатам испытаний. Например, у ВК-5/24 на рис. 2:  $H_0 = 108,7$  м;  $N_0 = 13,305$  кВт;  $\alpha = 17,08$  м/(дм<sup>3</sup>/с);  $\beta = 2,06$  кВт/(дм<sup>3</sup>/с).

Приведем характеристики к безразмерной форме:

$$h \equiv H/H_0 = 1 - q, \quad n \equiv N/N_0 = 1 - q/\theta, \quad (1.2)$$

$$q = Q/Q_H, \quad Q_N = N_0/\beta, \quad Q_H = H_0/\alpha, \quad \theta = Q_N/Q_H, \quad (1.3)$$

где  $Q_H$ ,  $Q_N$  – подачи, при которых функции  $f_1(Q)$  и  $f_2(Q)$  обращаются в нуль, соответственно.

Тогда КПД ВН можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{N} = \rho g \cdot \frac{Q \cdot f_1(Q)}{f_2(Q)} = \rho g \frac{Q(H_0 - \alpha Q)}{N_0 - \beta Q}. \quad (1.4)$$

Показатель удельных энергетических затрат ВН:

$$E = \frac{N}{Q} = \frac{f_2(Q)}{Q} = \frac{N_0 - \beta Q}{Q}. \quad (1.5)$$

Из (1.2)–(1.4) КПД ВН в безразмерной форме:

$$\eta \equiv \varphi(q) = K \frac{q(1-q)}{1-q/\theta}, \quad K = \frac{\rho g H_0^2}{\alpha N_0}. \quad (1.6)$$

По формулам (1.2), (1.6) видно, что линейные напорные характеристики (подача – напор) всех ВН являются подобными. Критерий подобия характеристик (подача – затраченная мощность) – величина  $\theta$  (см. рис. 4а). При определении КПД ВН имеется два критерия подобия:  $\theta$  и  $K$ . (рис. 4б).

Найдем производную функции (1.6) и приравняем ее к нулю:

$$\varphi'(q) = K \cdot \frac{(1-2q)(1-q/\theta) + (q-q^2)/\theta}{(1-q/\theta)^2}, \quad (1.7)$$

$$q^2 - 2\theta q + \theta = 0. \quad (1.8)$$

Корни квадратного уравнения (1.8):

$$q_{1,2} = \theta \cdot (1 \pm \sqrt{1 - 1/\theta}). \quad (1.9)$$

Выражение (1.9) имеет смысл, когда под корнем неотрицательная величина. Тогда условие существования максимума КПД:  $\theta > 1$  или  $Q_H < Q_N$ . Очевидно, что максимальный КПД может быть только при подаче  $Q_M < Q_N$ . Поэтому в формуле (1.9) физический смысл имеет только меньший корень:

$$q_M = \theta \cdot (1 - \sqrt{1 - 1/\theta}). \quad (1.10)$$

Выразим из  $Q_H$  (1.10):

$$Q_H = Q_M (2 - Q_M / Q_N). \quad (1.11)$$

(1.11)

Учитывая  $Q_M < Q_N$ , из (1.11) следует  $Q_M < Q_H$ .

Таким образом, при наличии максимума КПД:

$$Q_M < Q_H < Q_N. \quad (1.12)$$

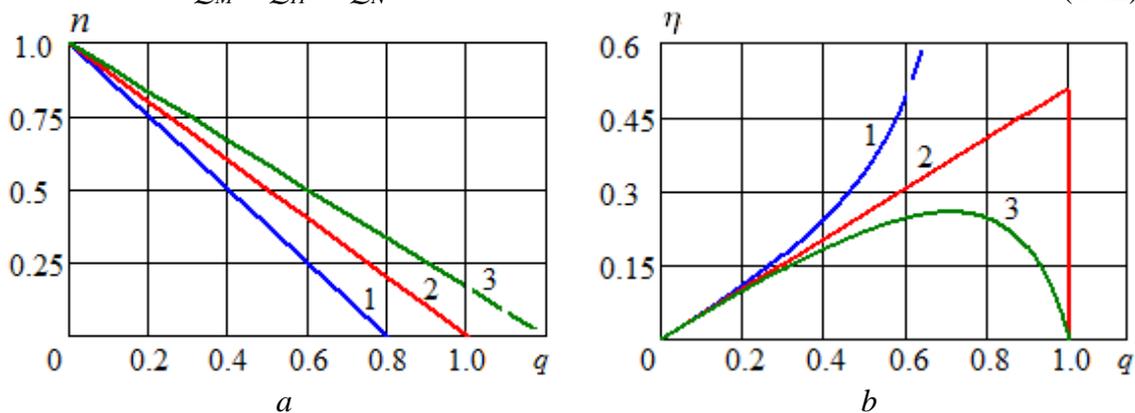


Рис. 4. Безразмерные характеристики вихревых насосов при разных значениях  $\theta$ :  
 1 –  $\theta = 0,8$ ; 2 –  $\theta = 1$ ; 3 –  $\theta = 1,2$ ;  $a$  – мощность;  $b$  – КПД при  $K = 0,51$

Fig. 4. Dimensionless characteristics of vortex pumps at different values  $\theta$ :  
 1 –  $\theta = 0.8$ ; 2 –  $\theta = 1$ ; 3 –  $\theta = 1.2$ ;  $a$  – power;  $b$  – efficiency at  $K = 0.51$

Во всей доступной технической документации по ВН выполняется условие  $\theta > 1$ . Следовательно, вид безразмерных характеристик будет такой, как линии 3 на

рис. 4. Чем ближе  $\theta$  к единице, тем больше зависимость  $\eta = \varphi(q)$  будет похожа на линию 2 на рис. 4b. Иллюстрацией может служить рис. 3a, где  $\theta=1,015$ .

## 2. РАБОЧАЯ ТОЧКА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Далее рассматриваем гидравлическую систему в квадратичной области сопротивления. Тогда характеристика трубопровода может быть представлена так:

$$H_T = H_C + b \cdot Q^2, \quad (2.1)$$

где  $H_C$  – статический напор,  $b$  – размерный коэффициент сопротивления трубопровода.

Приравнивая правые части (2.1) и первую из формул (1.1), получим уравнение для определения подачи в рабочей точке насосной установки:

$$H_0 - \alpha Q = H_C + b \cdot Q^2. \quad (2.2)$$

Разделим обе части уравнения (2.2) на  $H_0$  и запишем его в безразмерной форме:

$$a \cdot q^2 + q - (1 - h_C) = 0, \quad a = H_0 b / \alpha^2, \quad h_C = H_C / H_0. \quad (2.3)$$

Положительный корень квадратного уравнения (2.3) представляет собой безразмерную подачу ВН в рабочей точке:

$$q_P = \sqrt{\left(\frac{1}{2a}\right)^2 - \frac{1 - h_C}{a}} - \frac{1}{2a}. \quad (2.4)$$

По формуле (2.4) критериями подобия при определении подачи (и напора) в рабочей точке являются безразмерные величины  $a$  и  $h_C$ . На рис. 5 представлены такие зависимости. Видно, что с увеличением как величины  $a$ , так и  $h_C$  безразмерная подача падает, а напор возрастает.

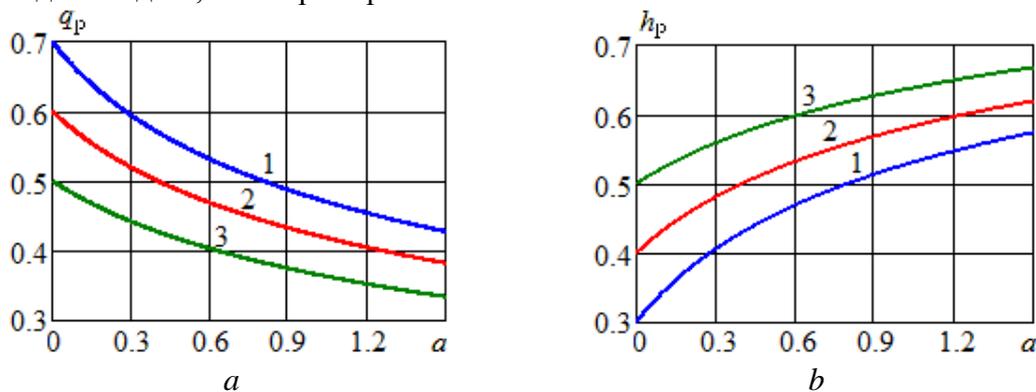


Рис. 5. Безразмерные параметры ВН в рабочей точке при разных значениях  $h_C$ :  
 1 –  $h_C = 0,3$ ; 2 –  $h_C = 0,4$ ; 3 –  $h_C = 0,5$ ;  $a$  – подача;  $b$  – напор

Fig. 5. Dimensionless parameters of PP at the working point at different  $h_C$  values:  
 1 –  $h_C = 0.3$ ; 2 –  $h_C = 0.4$ ; 3 –  $h_C = 0.5$ ;  $a$  – flow;  $b$  – head

С учетом второй формулы (1.2) и (1.6) при определении безразмерной мощности ВК в рабочей точке к критериям подобия  $a$  и  $h_C$  добавится  $\theta$ , а при определении КПД – еще и  $K$ . По рис. 6 увеличение  $a$ ,  $h_C$  и  $\theta$  приводит к росту безразмерной затраченной мощности в рабочей точке. По рис. 7 увеличение значений указанных критериев подобия влечет уменьшение КПД. Только при увеличении значения  $K$  происходит возрастание КПД.

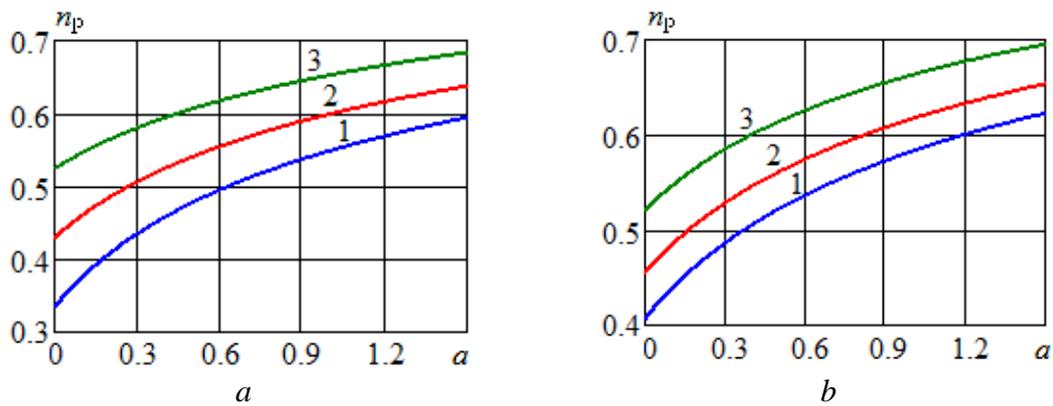


Рис. 6. Безразмерная затраченная мощность ВН в рабочей точке:  
 а – при  $\theta=1,05$  и разных значениях  $h_C$ : 1 –  $h_C = 0,3$ ; 2 –  $h_C = 0,4$ ; 3 –  $h_C = 0,5$ ;  
 б – при  $h_C = 0,4$  и разных значениях  $\theta$ : 1 –  $\theta = 1,01$ ; 2 –  $\theta = 1,1$ ; 3 –  $\theta = 1,25$

Fig. 6. Dimensionless expended PP power at the operating point:  
 а – at  $\theta= 1.05$  and different  $h_C$  values: 1 –  $h_C = 0.3$ ; 2 –  $h_C = 0.4$ ; 3 –  $h_C = 0.5$ ;  
 б – for  $h_C = 0.4$  and different values of  $\theta$ : 1 –  $\theta = 1.01$ ; 2 –  $\theta = 1.1$ ; 3 –  $\theta = 1.25$

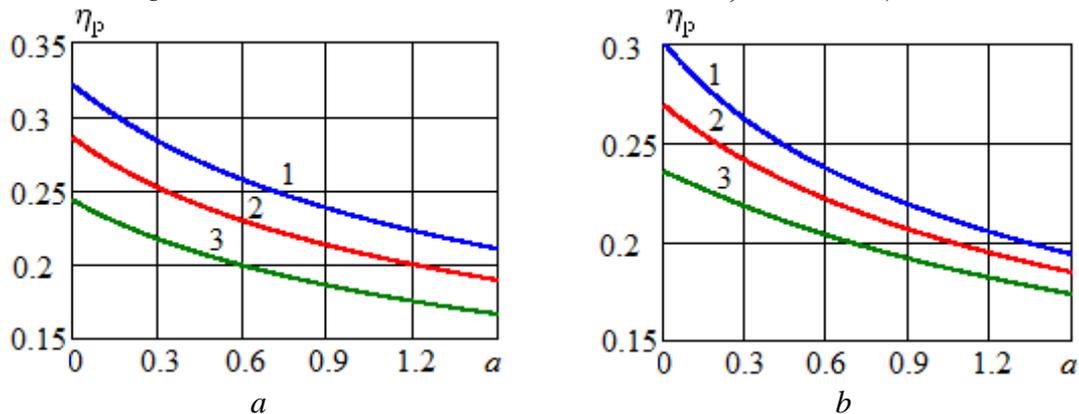


Рис. 7. Коэффициент полезного действия ВН в рабочей точке при  $K = 0,51$ :  
 а – при  $\theta=1,05$  и разных значениях  $h_C$ : 1 –  $h_C = 0,3$ ; 2 –  $h_C = 0,4$ ; 3 –  $h_C = 0,5$ ;  
 б – при  $h_C = 0,4$  и разных значениях  $\theta$ : 1 –  $\theta = 1,01$ ; 2 –  $\theta = 1,1$ ; 3 –  $\theta = 1,25$

Fig. 7. The efficiency of PP at the operating point at  $K = 0.51$ :  
 а – at  $\theta= 1.05$  and different values of  $h_C$ : 1 –  $h_C = 0.3$ ; 2 –  $h_C = 0.4$ ; 3 –  $h_C = 0.5$ ;  
 б – for  $h_C = 0.4$  and different values of  $\theta$ : 1 –  $\theta = 1.01$ ; 2 –  $\theta = 1.1$ ; 3 –  $\theta = 1.25$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производители вихревых насосов, используемых в пищевом производстве для подачи жидких сред, размещают в открытом доступе техническую документацию, содержащую, как правило, только нагрузочные характеристики. Выполненные авторами вычислительные эксперименты позволили определить критерии подобия ВН и исследовать их влияние на рабочие характеристики. В данной работе все расчеты выполнялись на основе опубликованных в открытом доступе результатов испытаний АО ГМС "Ливгидромаш", которые включали напорную характеристику, затраченную мощность, КПД.

### Список источников

1. Skoglund T., Dejmek P. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of microbial reduction in dispersed turbulent flow // *Journal of Food Engineering*. 2008. V. 86. P. 358–369.
2. Наумов В. А. Влияние плотности жидкости, перекачиваемой пищевым центробежным насосом, на рабочую точку // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. № 5. С. 524–530.
3. Оптимизация параметров технологического трубопровода по технико-экономическим показателям / А. А. Хвостов, М. Г. Магомедов, А. А. Журавлев [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020. Т. 82. № 1. С. 34–46.
4. Спасский К. Н., Шаумян В. В. Новые насосы для малых подач и высоких напоров: монография. Москва: Машиностроение, 1972. 160 с.
5. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: учебник. Москва: Стройиздат, 1986. 320 с.
6. Inoxmim FL-AL liquid ring pumps. URL: <https://www.inoxmim.com/en/agitators-pumps/liquid-ring-pump> (дата обращения: 01.12.2021).
7. Разработка и исследование малорасходной герметичной установки с вихревым насосом / П. С. Левочкин, Е. Н. Ромасенко, В. И. Видишев, С. Б. Голубков // *Конверсия в машиностроении*. 2006. № 1. С. 28–32.
8. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps. URL: <https://www.pedrollo.com/en/products/surface-3/peripheral-37> (дата обращения: 05.01.2021).
9. АО ГМС "Ливгидромаш". Насосы вихревые типов ВК, ВКС, ВКО. Руководство по эксплуатации. URL: <https://www.hms-livgidromash.ru/documentation/rukovodstva/260/1188/> (дата обращения: 01.12.2021).
10. Leo Group. Peripheral Pumps APm. URL: <https://leopump.com/1-1-1-4-peripheral-pump.html> (дата обращения: 05.01.2021).
11. SAWA Pumpentechnik AG. Peripheral pumps. URL: <https://www.sawa.ch/en/products/peripheral-pump-p-mp> (дата обращения: 05.01.2021).
12. Расчет течения жидкости в каналах вихревого насоса / И. Л. Жданов, А. И. Хаустов, Э. Д. Сергиевский, Е. В. Овчинников // *Вестник МАИ*. 2003. Т. 10, № 2. С. 47–51.
13. Statistical model for characterizing and optimizing peripheral pumps / C. Camargo, C. García, J. Duarte, A. Rincón // *Ingeniería y Desarrollo*. 2018. V. 36, N 1. P. 18–39.
14. Meakhail T., Park S. An improved theory for regenerative pump performance // *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. Part A-journal of Power and Energy*. 2005. V. 219. P. 213–222.

### References

1. Skoglund T., Dejmek P. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of microbial reduction in dispersed turbulent flow. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 86, pp. 358–369.

2. Naumov V. A. Vliyanie plotnosti zhidkosti, perekachivaemoy pishchevym tsentrobezhnym nasosom, na rabochuyu tochku [Influence of the density of the liquid pumped by a food centrifugal pump on the working point]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2020, no. 5, pp. 524–530.
3. Khvostov A. A., Magomedov M. G., Zhuravlev A. A. [et al.]. Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo truboprovoda po tekhniko-ekonomicheskim pokazatelyam [Optimization of technological pipeline parameters according to technical and economic indicators]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2020, vol. 82, no. 1, pp. 34–46.
4. Spasskiy K. N., Shaumyan V. V. *Novye nasosy dlya malykh podach i vysokikh napovorov* [New pumps for small flows and high pressures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972, 160 p.
5. Karelin V. Ya., Minaev A. V. *Nasosy i nasosnye stantsii: uchebnyk* [Pumps and pumping stations: textbook]. Moscow, Stroyizdat, 1986, 320 p.
6. Inoxmim FL-AL liquid ring pumps. Available at: <https://www.inoxmim.com/en/agitators-pumps/liquid-ring-pump> (Accessed 01 December 2021).
7. Levochkin P. S., Romasenko E. N., Vidishev V. I., Golubkov S. B. Razrabotka i issledovanie maloraskhodnoy germetichnoy ustanovki s vikhrevym nasosom [Development and research of a low-flow sealed installation with a vortex pump]. *Konversiya v mashinostroenii*, 2006, no. 1, pp. 28–32.
8. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps. Available at: <https://www.pedrollo.com/en/products/surface-3/peripheral-37> (Accessed 05 January 2021).
9. AO GMS "Livgidromash". *Nasosy vikhrevye tipov VK, VKS, VKO. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [JSC HMS "Livgidromash". Vortex pumps of VK, VKS, VKO types. Operation Manual]. Available at: <https://www.hms-livgidromash.ru/documentation/rukovodstva/260/1188/> (Accessed 01 December 2021).
10. Leo Group. Peripheral Pumps APm. Available at: <https://leopump.com/1-1-1-4-peripheral-pump.html> (Accessed 05 January 2021).
11. SAWA Pumpentechnik AG. Peripheral pumps. Available at: <https://www.sawa.ch/en/products/peripheral-pump-p-mp> (Accessed 05 January 2021).
12. Zhdanov I. L., Haustov A. I., Sergievskiy E. D., Ovchinnikov E. V. Raschet techeniya zhidkosti v kanalakh vikhrevogo nasosa [Calculation of fluid flow in vortex pump channels]. *Vestnik MAI*, 2003, vol. 10, no. 2, pp. 47–51.
13. Camargo C., García C., Duarte J., Rincón A. Statistical model for characterizing and optimizing peripheral pumps. *Ingeniería y Desarrollo*. 2018, vol. 36, no. 1, pp. 18–39.
14. Meakhail T., Park S. An improved theory for regenerative pump performance. Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. *Part A-journal of Power and Energy*, 2005, vol. 219, pp. 213–222.

### Информация об авторах

**Н. Р. Ахмедова** – кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства

**О. И. Левичева** – начальник участка водоснабжения и водоотведения

**В. А. Наумов** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства

**Information about the authors**

**N. R. Akhmedova** – PhD in Biology, Associate Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

**O. I. Levicheva** – Head of the water supply and sanitation section

**V. A. Naumov** – Doctor of Engineering, Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

Статья поступила в редакцию 19.01.2022; одобрена после рецензирования 30.01.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 19.01.2022; approved after reviewing 30.01.2022; accepted for publication 15.07.2022

Научная статья

УДК [664.782:664.95]:664.66(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-89-102

### **Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий**

**Виктор Иванович Воробьев<sup>1</sup>, Ольга Павловна Чернега<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

<sup>2</sup>olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

**Аннотация.** Исследовано влияние добавок растительного сырья с рыбным коллагеном из чешуи рыб (судак, сазан) на физико-химические и органолептические показатели хлебобулочных изделий. Определена оптимальная массовая доля внесения рыбной коллагеновой фракции (РКФ) в растительное сырье (яблочное пюре), составляющая 6 %. Получены опытные образцы мелкоштучных хлебобулочных изделий пониженной калорийности с добавлением различных растительных компонентов в количестве 6 % от массы сырья с концентрацией 6 % РКФ. В качестве растительных добавок было использовано отварное протертое растительное сырье из тыквы, моркови, свеклы и не подвергнутой термической обработке протертой клюквы. Определено, что у булочек "Одуванчик" и "Янтарик" с РКФ в составе растительного сырья происходит снижение упека на 1–2 % и увеличение формоустойчивости с 0,54 до 0,60 и с 0,60 до 0,70 соответственно по сравнению с контролем. Экспериментально установлены продолжительность замораживания контрольных и опытных образцов мелкоштучных хлебобулочных изделий с РКФ (при стадии готовности изделия 60 %) в морозильном аппарате "Abat ШОК-6-1/1" при температуре минус 25 °С и режим допекания в пароконвектомате "Rational 0128100.01". Полученные опытные образцы с РКФ по органолептическим показателям идентичны контрольным без добавления РКФ. Исследован общий химический состав (включая кальций, фосфор и энергетическую ценность) готовых хлебобулочных изделий. Отмечено незначительное увеличение массовой доли влаги, белка, золы и снижение массовой доли углеводов у булочек с добавкой РКФ по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** чешуя рыб, рыбная коллагеновая фракция, мелкоштучные хлебобулочные изделия пониженной калорийности, растительное сырье

**Для цитирования:** Воробьев В. И., Чернега О. П. Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 89–102.

Original article

## Application of vegetable raw materials with fish collagen in the production of small bakery products

Viktor I. Vorobyov<sup>1</sup>, Olga P. Chernega<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>viktor.vorobev @klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

<sup>2</sup>olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

**Abstract.** The effect of additives of vegetable raw materials with fish collagen from the scales of fish (perch, carp) on the physicochemical and organoleptic parameters of the resulting bakery products has been studied. The optimal mass fraction of the introduction of fish collagen fraction (FCF) into vegetable raw materials (apple puree) has been determined, which is 6%. Experimental samples of low-calorie small-piece bakery products have been obtained, with the addition of various plant components in an amount of 6% by weight of raw materials with a concentration of 6% FCF. Boiled mashed vegetable raw materials from pumpkin, carrots, beets and mashed cranberries not subjected to heat treatment have been used as herbal supplements. It has been found that in the buns "Dandelion" and "Yantarik" with FCF in the composition of vegetable raw materials, there is a decrease in baking by 1–2% and an increase in shape stability (from 0.54 to 0.60 and from 0.60 to 0.70, respectively) compared to the control. The duration of freezing of the control and experimental samples of small-piece bakery products with FCF (at the stage of readiness of the product is 60%) in the freezer Abat SHOK-6 - 1/1 at a temperature of -25°C, as well as the post-baking mode in the Rational 0128100.01 combi steamer, has been found experimentally. The obtained prototypes of small-piece bakery products with FCF are identical in organoleptic parameters to the control samples without the addition of fish collagen fraction. The general chemical composition (including calcium, phosphorus and energy value) of finished bakery products has been investigated. There has been a slight increase in the mass fraction of moisture, protein, ash and a decrease in the mass fraction of carbohydrates in buns with the addition of FCF compared to the control.

**Keywords:** fish scales, fish collagen fraction (FCF), low-calorie small-piece bakery products, vegetable raw materials

**For citation:** Vorobyov V. I., Chernega O. P. Application of vegetable raw materials with fish collagen in the production of small-piece bakery products // *Izvestiya KSTU = KSTU News*. 2022;(66):89–102.(in Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

Хлебная корзина – это постоянный ассортимент хлебов, предлагаемый предприятиями общественного питания, который, как правило, состоит из разнообразных свежеспецированных булочек и хлебов. Так как процесс производства данного вида продукции очень трудоемкий, то для предприятий, самостоятельно производящих хлеб, целесообразно применять технологию шокового замораживания изделий, выпеченных на 60%, с возможностью в случае необходимости продолжительного холодильного хранения и допекания непосредственно перед

реализацией [1]. В настоящее время актуальным является расширение ассортимента диетических и функциональных (обогащенных) хлебобулочных изделий. Уникальную хлебную корзину можно создать, используя нетрадиционное сырье. При этом последнее может выступать не только как вкусо- и ароматообразующий ингредиент, но и как носитель функциональных свойств, повышающих пищевую ценность хлебобулочных изделий. РКФ, полученная из чешуи рыб по новой технологии, а также растительное сырье (плоды, овощи, корнеплоды и ягоды) могут быть использованы в качестве обогащающих и функциональных добавок (белки, минералы, пектин, витамины и др.) при изготовлении хлебобулочной продукции [2–7].

Цель настоящей работы – обоснование возможности использования растительного сырья с РКФ при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований являлись яблочное пюре с РКФ, мелкоштучные хлебобулочные изделия с добавлением растительного сырья с РКФ. Эксперименты проводились в лаборатории кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО "КГТУ" и сертифицированной испытательной лаборатории ООО "Калининградский испытательный центр".

Общий химический анализ образцов, включая также фосфор, кальций, и расчет энергетической ценности осуществлялись в соответствии с нормативной документацией, указанной в табл. 6.

Влажность мякиша готовых хлебобулочных изделий определяли по ГОСТ 21094-75 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения влажности"; кислотность – по ГОСТ 5670-96 "Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности"; формоустойчивость – по ГОСТ 27669-88 "Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба"; органолептические показатели готовых мелкоштучных хлебобулочных образцов на соответствие ГОСТ 31805-2018 "Изделия хлебопекарные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия" – по ГОСТ 5667-65 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий". Продолжительность замораживания устанавливали экспериментально в морозильном аппарате "Abat ШОК-6-1/1", режим допекаания – в пароконвектомате "Rational 0128100.01".

Коллагеновую фракцию (РКФ) получали в лабораторных условиях из чешуи рыб (сазан, судак) по ранее разработанной технологии (находится в стадии патентования) [8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При производстве хлебобулочных изделий диетического и функционального назначения их калорийность уменьшается за счет внесения растительного сырья, замены части жиров и углеводов овощами. Растительное сырье, содержащее в своем составе пектин, позволяет получить продукцию высокого качества, так как при ее замораживании образуются более мелкие кристаллы льда, не разрушающие

структуру клейковины. Рыбный коллаген также обладает криопротекторными свойствами и может быть использован для обогащения продуктов белком.

С целью установления оптимальной массовой доли внесения РКФ в растительное сырье были произведены семь образцов яблочного пюре массой по 100 г: контрольный (без РКФ) термообработанный и образцы с 1, 2, 4, 6, 8, 10 % коллагеновой добавки от массы сырья, также подвергнутые термообработке.

Технология производства яблочного пюре с рыбным коллагеном следующая: мойка и сортировка яблок, чистка, измельчение, гомогенизация, термообработка, добавление РКФ в различном количестве от массы пюре (1, 2, 4, 6, 8, 10 %), нагревание в течение 3 мин, перемешивание до полного распределения РКФ, охлаждение. Образцы полученного яблочного пюре представлены на рис. 1.



Рис 1. Яблочное пюре с различным содержанием РКФ (1, 2, 4, 6, 8, 10 %) и без РКФ (контроль)

Fig. 1. Apple puree with different content of FCF (1, 2, 4, 6, 8, 10 %) and without FCF (control)

Значения pH контрольного и опытных образцов яблочного пюре приведены в табл.1.

Таблица 1. Значения pH яблочного пюре в зависимости от процента внесения РКФ

Table 1. pH values of apple puree depending on the % of FCF application

Массовая доля РКФ в процентах от массы яблочного пюре	pH
0 (контроль) после термообработки	4,26
1	5,07
2	5,08
4	5,21
6	5,38
8	5,47
10	5,59

Из табл. 1 видно, что с увеличением массовой доли РКФ в яблочном пюре значение pH возрастает.

При органолептической оценке контрольного и опытных образцов яблочного пюре отмечали вкус, запах, цвет и консистенцию. Она показала следующее:

- при введении РКФ 6 % и выше вкус яблочного пюре переходит из кислотного в сладкий;
- начиная с 6 % введения РКФ в образцах ощущается привкус, свойственный добавке;

– с увеличением массовой доли РКФ консистенция яблочного пюре становится более густой по сравнению с контролем.

По полученным данным можно сделать вывод, что оптимальная массовая доля РКФ (%) в яблочном пюре составляет не более 6 %.

Для обоснования возможности использования растительного сырья с РКФ при производстве мелкоштучной хлебобулочной продукции в качестве контроля были взяты рецептуры изделий с пониженной калорийностью – булочек "Розовая" и "Осенняя" из сборника рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания [9]. Внесение растительного сырья в данных рецептурах составляет 4–5 % от массы полуфабриката.

Растительное сырье согласно рецептуре для контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий подготавливали следующим образом: овощи мыли, очищали, варили традиционным способом, затем измельчали до пюреобразной консистенции, клюкву мыли и также измельчали до пюреобразного состояния [9]. Затем в опытные образцы пюре добавляли 6 % РКФ от массы сырья.

В качестве растительного сырья с целью получения хлебобулочных изделий пониженной калорийности, имеющих в составе пектин, обладающий криопротекторными свойствами, для опытных образцов были взяты тыква, морковь, клюква и свекла.

Образцы пюре из растительного сырья с РКФ и без нее представлены на рис. 2.

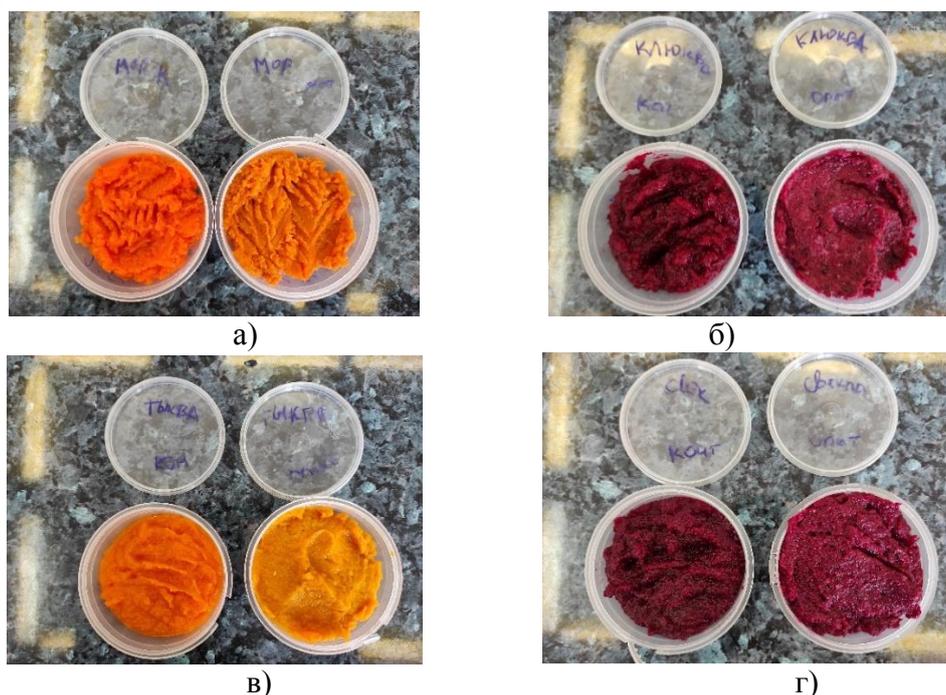


Рис. 2. Внешний вид контрольных (слева) и опытных (справа) образцов отварного протертого растительного сырья для булочек с добавлением 6 % РКФ от массы сырья: *a* – морковь, *b* – клюква, *c* – тыква, *d* – свекла  
Fig. 2. Appearance of control (left) and experimental (on right) samples of boiled mashed vegetable raw materials for buns with the addition of 6 % FCF by weight of raw materials: *a* – carrots, *b* – cranberries, *c* – pumpkin, *d* – beets

Как видно из рис. 2, введение РКФ в добавки повлияло на их цвет. По сравнению с контрольными (без РКФ) опытные образцы пюре имели цвет менее яркий. Вкус и запах не отличались от контроля и были характерными для используемого вида сырья. Консистенция опытных образцов чуть более плотная, чем у контроля.

Компонентный состав опытных образцов хлебобулочных изделий, в состав которых входит растительное сырье с РКФ и без него (контроль), представлен в табл. 2.

Таблица 2. Рецептуры хлебобулочных изделий (масса штучных изделий 60 г) с растительным сырьем и РКФ и без него (контроль)

Table 2. Recipes of bakery products (weight of piece products 60 g) with vegetable raw materials and FCF and without it (control)

Наименование сырья и полуфабрикатов	Расход сырья на 100 шт. готовых изделий, г					
	Булочка					
	"Бар-би"	"Ягод-ная"	"Пест-рая"	"Янта-рик"	"Мимо-за"	"Одуван-чик"
Мука пшеничная высшего сорта	4300,0	4300,0	4300,0	3690,0	3690,0	3690,0
Мука пшеничная высшего сорта (на подпыл)	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Дрожжи сухие	65,0	65,0	65,0	40,0	40,0	40,0
Сахар-песок	200,0	200,0	200,0	600,0	600,0	600,0
Соль	70,0	70,0	70,0	40,0	40,0	40,0
Масса моркови отварной протертой с РКФ	–	–	–	–	–	250,0
Масса тыквы отварной протертой с РКФ	–	–	–	250,0	–	–
Масса отварной протертой тыквы	–	–	–	–	250,0	–
Масса протертой клюквы с РКФ	–	–	340,0	–	–	–
Масса протертой клюквы	–	340,0	–	–	–	–
Масса протертой свеклы с РКФ	340,0	–	–	–	–	–
Маргарин	130,0	130,0	130,0	700,0	700,0	700,0
Яйца (для смазки)	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0
Итого сырья	5350,0	5350,0	5350,0	5565,0	5565,0	5565,0
Вода	1800	1800	1800	1650,0	1650,0	1650,0
Масса п/ф	6800	6800	6800	6800,0	6800,0	6800,0
Выход	6000	6000	6000	6000,0	6000,0	6000,0

Дрожжевое тесто для всех образцов готовили опарным способом с внесением протертого растительного сырья (моркови, свеклы, тыквы, клюквы). В опытные образцы к опаре добавляли то же сырье, но с РКФ в количестве 6 % от его массы и протертую клюкву также с 6 % РКФ от массы.

Из готового теста формировали шарики весом 53–68 г и оставляли для расстойки на 40–50 мин (рис. 3).



Рис. 3. Формованные контрольные и опытные образцы с добавлением растительного сырья на момент расстойки: *а* – булочка "Розовая" (первый ряд сверху), булочка "Барби" с РКФ (второй ряд сверху), булочка "Ягодная" (третий ряд сверху), булочка "Пестрая" с РКФ (четвертый ряд сверху); *б* – булочка "Осенняя" (первый ряд сверху), булочка "Одуванчик" с РКФ (второй ряд сверху), булочка "Мимоза" (третий ряд сверху), булочка "Янтарик" с РКФ (четвертый ряд сверху)

Fig. 3. Molded control and experimental samples with the addition of vegetable raw materials at the time of proofing: *a* – Pink bun, first row on top, Barbie bun with the addition of FCF, second row on top, Berry bun, third row on top, Motley bun" with the addition of FCF fourth row from the top; *b* – "Autumn" bun first row from the top, "Dandelion" bun with FCF addition second row from the top, "Mimosa" bun third row from the top, Yantarik bun with FCF addition fourth row from the top

Перед выпечкой поверхность изделия смазывали яйцом и выпекали его в пароконвектомате "Rational 0128100.01".

Установлено, что наилучшими органолептическими характеристиками после замораживания обладали изделия, выпеченные на 60 % готовности, с последующим доведением до готовности в течение 10 мин при температуре 180°C. Поэтому для опытных и экспериментальных образцов был выбран именно этот способ выпекания перед замораживанием [1].

Все образцы хлебобулочных изделий выпекали до готовности 60 % при температуре 230°C в течение 7 мин. Далее после остывания осуществляли их замораживание в аппарате шоковой заморозки "Abat ШОК-6-1/1" при температуре минус 25°C. Экспериментальным путем было установлено время замораживания до температуры минус 18°C в центре продукта. Динамика падения температуры от начальной до заданной конечной в центре полуфабриката при замораживании в аппарате шоковой заморозки представлена на рис. 4.

Анализ результатов показал, что для булочек "Розовая", "Ягодная", "Мимоза" и "Осенняя" без добавления коллагена продолжительность замораживания составила 90 мин, для "Одуванчик" и "Янтарик" с внесением коллагена – 100, для "Барби" и "Пестрая" – 110 мин. Разница в продолжительности замораживания обусловлена плотностью изделий.

Далее после холодильного хранения образцы отепляли и допекали 10 мин при температуре 180 °C.

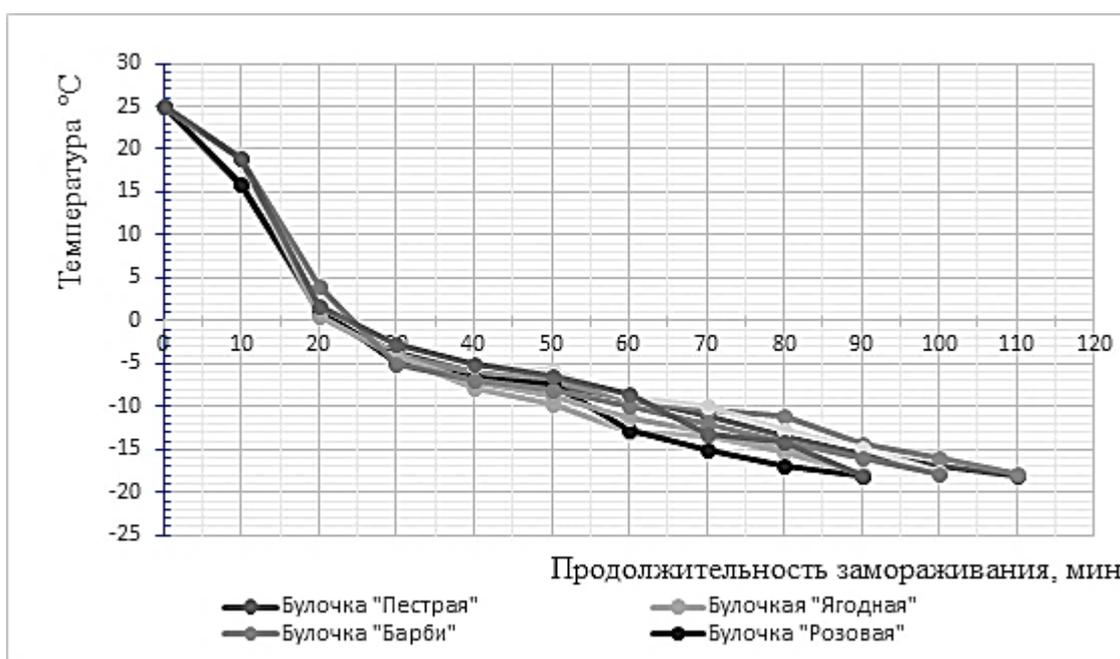


Рис. 4. Динамика температуры в центре контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий в зависимости от рецептуры при замораживании в морозильном аппарате "Abat ШОК-6-1/1"

Fig. 4. Dynamics of temperature in the center of control and experimental samples of bakery products, depending on the recipe during freezing in the freezer "Abat SHOCK-6-1/1"

Масса хлебобулочных изделий на разных технологических операциях приведена в табл. 3.

Таблица 3. Масса контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий на различных технологических операциях

Table 3. Change in the mass of control and experimental samples of bakery products in various technological operations

Название образцов	Масса полуфабриката, г	Масса после выпекания до готовности 60 %, г	Масса выпеченного изделия, г	Упек, %
1	2	3	4	5
Булочка "Розовая" (контроль)	62,85	58,98	55,58	11,1
	62,16	58,88	55,26	11,1
	56,55	53,56	50,27	11,1
	58,54	54,98	51,68	11,7
	41,51	38,96	36,92	11,1
Булочка "Барби" с РКФ	56,86	53,03	50,35	11,4
	58,85	54,57	51,49	12,5
	62,74	59,47	55,69	11,2
	55,84	52,03	49,00	12,2
	40,09	37,77	35,65	11,1

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5
Булочка "Ягодная" (контроль)	61,21	57,17	53,89	12,0
	54,22	50,26	47,61	12,2
	55,43	51,81	49,23	11,2
	58,92	54,81	51,85	12,0
	55,53	51,67	48,82	12,1
Булочка "Пестрая" с РКФ	58,09	53,89	51,91	10,6
	56,39	52,79	50,47	10,5
	56,42	52,51	50,06	11,3
	53,21	49,04	46,98	11,7
	57,47	53,14	50,69	11,8
Булочка "Осенняя" (контроль)	63,28	57,73	55,19	12,8
	64,19	59,61	57,12	11,0
	62,82	58,20	55,80	11,1
	67,32	62,20	59,64	11,4
Булочка "Одуванчик" с РКФ	77,13	71,15	68,65	11,0
	66,27	62,22	59,77	9,8
	68,57	64,31	62,12	9,4
	67,47	62,50	60,95	9,7
	65,13	60,10	58,92	9,5
Булочка "Мимоза" (контроль)	65,12	60,10	58,71	9,8
	62,58	58,83	55,99	10,5
	68,52	64,56	61,58	10,1
	66,99	62,10	59,98	10,5
	64,83	59,57	57,46	11,4
Булочка "Янтарик" с РКФ	60,39	55,83	54,09	10,4
	60,52	57,24	54,80	9,5
	66,34	62,20	59,90	9,6
	67,97	63,37	61,31	9,8
	64,74	59,93	58,77	9,2
	68,18	63,45	61,41	9,9

Упек при выпечке хлеба и хлебобулочных изделий может колебаться в пределах 6–14 % в зависимости от сорта, формы, массы изделия и режима выпечки. Как видно из табл. 3, для всех опытных образцов он составил от 9,2 до 12,5 %, что соответствует норме. У булочек "Одуванчик" и "Янтарик" с РКФ в составе растительного сырья произошло снижение упека на 1–2 % по сравнению с "Мимозой" и "Осенней" без РКФ и имело минимальное значение от 9,2–9,8 %.

Физико-химические показатели готовых хлебобулочных изделий приведены в табл. 4, 5.

Таблица 4. Показатели формоустойчивости хлебобулочных изделий опытных и контрольных образцов в зависимости от рецептуры

Table 4. Indicators of dimensional stability of bakery products of experimental and control samples, depending on the recipe

Название образца	Формоустойчивость
1	2
Булочка "Розовая"	0,70±0,2
Булочка "Барби" с РКФ	0,70±0,2

Окончание таблицы 4

1	2
Булочка "Ягодная"	0,80±0,2
Булочка "Пестрая" с РКФ	0,78±0,2
Булочка "Осенняя"	0,54±0,02
Булочка "Одуванчик" с РКФ	0,60±0,03
Булочка "Мимоза"	0,60±0,03
Булочка "Янтарик" с РКФ	0,70±0,1

Таблица 5. Физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий опытных и контрольных образцов в зависимости от рецептуры

Table 5. Physical and chemical indicators of the quality of bakery products of experimental and control samples, depending on the recipe

Название образца	Влажность мякиша, %	Кислотность, град
Булочка "Розовая"	32,30	3,38
Булочка "Барби" с РКФ	28,20	3,45
Булочка "Ягодная"	32,33	3,45
Булочка "Пестрая" с РКФ	30,00	3,80
Булочка "Осенняя"	26,60	2,90
Булочка "Одуванчик" с РКФ	26,50	3,10
Булочка "Мимоза"	24,82	3,40
Булочка "Янтарик" с РКФ	24,80	3,50

Согласно ГОСТ 31805-2018 "Изделия хлебобулочные из пшеничной муки. Общие технические условия" влажность мякиша в продукции из пшеничной хлебопекарной муки должна быть в пределах 19,0– 52,0 %, а его кислотность – не более 3,5 град. Как видно из таблицы, все образцы по влажности соответствовали стандарту, кислотность была завышена только в булочке "Пестрой" с добавлением протертой клюквы с РКФ.

Оценку комплексных органолептических показателей контрольных и опытных образцов готовых изделий проводили по 5-балльной шкале, обращая внимание на их внешний вид (форма, состояние поверхности), цвет поверхности, состояние мякиша (цвет, равномерность окраски, эластичность, пористость), хруст, крошковатость, комкуемость при разжевывании, вкус и аромат.

Вид контрольных и опытных образцов готовых мелкоштучных хлебобулочных изделий представлен на рис. 5.



Рис. 5. Контрольные и опытные образцы мелкоштучных хлебобулочных изделий после допекания

Fig. 5. Control and experimental samples of small-piece bakery products after baking

Органолептическая оценка контрольного и опытных образцов готовой продукции показала следующее: изделия имели соответствующие рецептуре форму и цвет поверхности; пропеченный, не влажный на ощупь мякиш без следов непромеса; пористость, присущую изделию конкретного наименования; вкус и запах, свойственные данному виду продукта, без постороннего привкуса и запаха. Опытные образцы мелкоштучных хлебобулочных изделий были идентичны контрольным без добавления РКФ.

Следует отметить, что продукция, приготовленная на основе рецептуры булочки "Розовой", имела хрустящую корочку, с добавлением пюре из свеклы – розовый мякиш, а с внесением пюре из клюквы – бледно желтый с вкраплением мелких кусочков ягодной кожуры. Мякиш у изделий на основе рецептуры булочки "Розовой" был более плотным, чем у таковых на основе "Осенней".

В результате органолептической оценки минимальное количество баллов получили булочки "Ягодная" с добавлением пюре из клюквы и "Пестрая" – с пюре из клюквы с РКФ, а максимальное – "Янтарик" с внесением пюре из тыквы с РКФ и "Одуванчик" – с пюре из моркови с РКФ.

Профилограмма органолептической оценки контрольных и опытных образцов мелкоштучных хлебобулочных изделий показана на рис. 6, 7.



Рис. 6. Органолептический профиль образцов хлебобулочных изделий на основе рецептуры булочки "Розовой"

Fig. 6. Organoleptic profile of the samples of bakery products based on the bun recipe "Pink"

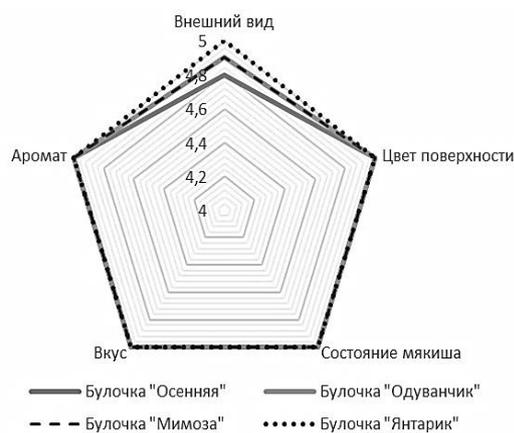


Рис. 7. Органолептический профиль образцов хлебобулочных изделий на основе рецептуры булочки "Осенней"

Fig. 7. Organoleptic profile of the samples of bakery products based on the bun recipe "Autumn"

Общий химический состав (включая фосфор, кальций, энергетическую ценность) контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий приведен в табл. 6.

Таблица 6. Общий химический состав (включая фосфор, кальций, энергетическую ценность) контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий  
Table 6. General chemical composition (including phosphorus, calcium, energy value) of control and experimental samples of bakery products

Определяемая характеристика (показатель) и единица измерения	Документы, устанавливающие правила и методы испытаний, измерений	Булочка	
		"Мимоза" (контроль)	"Янтарик" с РКФ
Массовая доля влаги, %	ГОСТ Р 54607.4-2015 п. 7.1	24,0±0,3	24,3±0,3
Массовая доля жира, %	ГОСТ Р 54607.5-2015 п. 7.1	4,9±0,5	4,9±0,5
Массовая доля белка, %	ГОСТ Р 54607.7-2016	9,6±0,2	9,8±0,2
Массовая доля золы, %	ГОСТ Р 54607.7-2017	0,801±0,009	0,814±0,009
Массовая доля углеводов, %	МУ №4237-86 от 29.12.86 г. (расчетный)	60,7	59,7
Массовая доля общего фосфора, %	ГОСТ Р 30615-99	0,2	0,2
Массовая доля кальция, мг/кг	ГОСТ Р 55573-2013 п. 5	127,78±21,72	154,32±26,23
Энергетическая ценность, ккал/100 г	ТР ТС 022/2011 Приложение 4, МУ №4237-86 от 29.12.86 г. (расчетный)	325	322

Из табл. 6, видно, что булочка "Янтарик" с РКФ имеет незначительное увеличение массовой доли влаги, белка и золы (в том числе кальция) и уменьшение углеводов по сравнению с контролем.

## ВЫВОДЫ

1. Оптимальная массовая доля РКФ в рецептуре растительной добавки для мелкоштучных хлебобулочных изделий составляет 6 %.

2. Продолжительность замораживания в морозильном аппарате "Abat ШОК-6-1/1" при температуре минус 25 °С (при стадии готовности изделия 60 %) мелкоштучных хлебобулочных изделий составляет: булочек "Розовая", "Ягодная", "Мимоза" и "Осенняя" без добавления РКФ – 90 мин, "Одуванчик" и "Янтарик" с добавлением РКФ – 100 мин, "Барби" и "Пестрая" – 110 мин.

3. В процессе производства отмечено снижение упека у булочек "Одуванчик" и "Янтарик" с РКФ в составе растительного сырья на 1– 2 % и увеличение их формоустойчивости с 0,54 до 0,60 и с 0,60 до 0,70 соответственно по сравнению с контролем.

4. Режим допекания в пароконвектомате "Rational 0128100.01" после отепления – 10 мин при температуре 180 °С.

5. Включение растительного сырья с РКФ в рецептуры мелкоштучных хлебобулочных изделий не оказывает отрицательного влияния на их органолептические показатели.

6. Применение РКФ в качестве добавки способствует увеличению массовой доли белка, золы, влаги, а также показателя рН и снижению углеводов в готовых хлебобулочных изделиях.

7. Разработка имеет практическую значимость и может быть востребована на предприятиях общественного питания.

### Список источников

1. Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания / Е. В. Рощина, Р. З. Григорьева, С. Ю. Баранец, Н. И. Давыденко, М. С. Куракин // *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50, № 3. С. 439–449. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-439-449>.

2. Воробьев В. И., Нижникова Е. В., Егорова К. В. Рыбья чешуя и новые направления ее практического применения // *Материалы IX Международного Балтийского морского форума 4–9 октября 2021*. [URL]: <https://www.bgarf.ru/novosti/9...Т. 1 Титулы и содержание.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).

3. Zavalishina O. M., Kuznetsova T. A., Korneeva A. V. The results of evaluating the use of vegetable additives in bread production // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2021. V. 640. N 6. P. 1–5, doi: 10.1088/1755-1315/640/6/062009.

4. Аллерт А. А., Альшевская М. Н. Научное обоснование применения овощных масс свеклы, моркови, петрушки в технологии хлебобулочных изделий // *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2017. № 45. С. 125–135.

5. Larrosa A. P. Q., Otero D. M. Flour made from fruit by – products: Characteristics, processing conditions, and applications // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. Т. 45. № 5. С. 1–22, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15398>.

6. Sahni P., Shere D. M. Utilization of fruit and vegetable pomace as functional ingredient in bakery products: a review // *Asian Journal of Dairy & Food Research*. 2018. V. 37. N 3. С 201–211, doi: 10.18805/ajdfr. DR-1369.

7. Lau K. Q., Sabran M. R., Shafie S. R. Utilization of Vegetable and Fruit By-products as Functional Ingredient and Food // *Frontiers in nutrition*. 2021. V. 8. P. 261, <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.661693>.

8. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение фракций коллагена и гидроксипатита из рыбьей чешуи // *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2021. № 62. С. 80–91, doi: 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.

9. Сборник рецептов мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания / под ред. А. В. Павлова. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1998. 290 с.

### References

1. Roshchina E. V., Grigor'eva R. Z., Baranets S. Yu., Davydenko N. I., Kurakin M. S. Shokovaya zamorozka bulochnykh izdeliy s ispol'zovaniem netradsionnogo rastitel'nogo syr'ya na predpriyatiyakh obshchestvennogo pitaniya [Shock freezing of bakery products using non-traditional vegetable raw materials at catering establishments]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2020, vol. 50, no. 3, pp. 439–449.

2. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V., Egorova K. V. Ryb'ya cheshuya i novye napravleniya eyo prakticheskogo primeneniya [Fish scales and new directions of its practical application]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 4–9 oktyabrya 2021* [Proceedings of the IX International Baltic Maritime Forum 4–9 October 2021], available at: <https://www.bgarf.ru/novosti/9...Tom 1 Tituly i sodержanie.pdf> (Accessed 15 May 2022).

3. Zavalishina O. M., Kuznetsova T. A., Korneeva A. V. The results of evaluating the use of vegetable additives in bread production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021, vol. 640, no. 6, pp. 1–5, doi:10.1088/1755-1315/640/6/062009.

4. Allert A. A., Al'shevskaya M. N. Nauchnoe obosnovanie primeneniya ovoshchnykh mass svekly, morkovi, petrushki v tekhnologii khlebobulochnykh izdeliy [Scientific substantiation of the use of vegetable masses of beets, carrots, parsley in the technology of bakery products]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 45, pp. 125–135.

5. Larrosa A. P. Q., Otero D. M. Flour made from fruit by – products: Characteristics, processing conditions, and applications. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, vol. 45, no. 5, pp. 1–22, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15398>.

6. Sahni P., Shere D. M. Utilization of fruit and vegetable pomace as functional ingredient in bakery products: a review. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 2018, vol. 37, no. 3, pp. 201–211, doi: 10.18805/ajdfr.DR-1369.

7. Lau K. Q., Sabran M. R., Shafie S. R. Utilization of Vegetable and Fruit By-products as Functional Ingredient and Food. *Frontiers in nutrition*, 2021, vol. 8, pp. 261, <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.661693>

8. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. Poluchenie fraktsiy kollagena i gidroksiapatita iz ryb'ey cheshui [Obtaining fractions of collagen and hydroxyapatite from fish scales]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 62, pp. 80–91, doi 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.

9. Pavlov A. V. *Sbornik retseptur muchnykh konditerskikh i bulochnykh izdeliy dlya predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya* [Collection of recipes for flour confectionery and bakery products for public catering establishments]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1998, 290 p.

### Информация об авторах

**В. И. Воробьев** – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

**О. П. Чернега** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания

### Information about the authors

**V. I. Vorobyov** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

**O. P. Chernega** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; одобрена после рецензирования 26.05.2022; принята к публикации 31.05.2022

The article was submitted 16.05.2022; approved after reviewing 26.05.2022; accepted for publication 31.05.2022

Научная статья

УДК 664.66.022.39

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-103-111

**Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой**

**Наталья Юрьевна Ключко<sup>1</sup>, Дарья Александровна Позднякова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>natalya.kluchko@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

<sup>2</sup>dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

**Аннотация.** В статье представлены данные опроса школьников 15–16 лет, показывающие их предпочтения в рационе питания. Отмечается, что в качестве перекуса большинство подростков предпочитают хлебобулочные и мучные кондитерские изделия, поэтому повышать биологическую ценность данной продукции актуально. Установлено также, что дети в недостаточном количестве употребляют рыбный белок, являющийся полноценным и легкоусваиваемым. В связи с этим в работе решается проблема совершенствования технологии пшеничных хлебцев (краюшек) посредством замены части муки на ржаную и обогащения белково-минеральной добавкой. Последняя представляет собой композицию, полученную путем деструкции мышечной, покровной и костной тканей рыбного сырья в подсырной молочной сыворотке. Для определения оптимальных параметров указанного процесса проведено математическое планирование эксперимента с использованием центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов: степени измельчения рыбного сырья (2 раза) и продолжительности дезагрегации (4 ч). Полученная белково-минеральная добавка применена при производстве ржано-пшеничных хлебцев (краюшек) посредством ее введения в состав теста. Выпеченный готовый продукт представлял собой привлекательное хлебобулочное изделие от светло-серого до светло-коричневого цвета, хорошо пропеченное, с равномерной структурой, без признаков непромеса, с приятным вкусом и запахом с неярко выраженными рыбными оттенками. Результаты физико-химических исследований показали увеличение количества белка на 47,3, минеральных веществ – на 96,3 %. Показатель биологической ценности белка составил 124 %, что характеризует его сбалансированность. Коэффициент утилитарности аминокислот возрос при добавлении в стандартную рецептуру хлебцев белково-минеральной добавки в 2 раза, что свидетельствует о целесообразности его введения. Установлено, что хлебцы отличаются высоким содержанием наиболее значимых в питании минеральных элементов (калия, кальция, магния, натрия, фосфора); таким образом, новый продукт является функциональным.

**Ключевые слова:** питание подростков, обогащенные продукты, хлебобулочное изделие, хлебцы, краюшки, белково-минеральная добавка, треска, подсырная молочная сыворотка

**Для цитирования:** Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А. Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 103–111.

Original article

### **Study on the technology improvement of bakery products enriched with a fish protein-mineral additive**

**Nataliya Yu. Klyuchko<sup>1</sup>, Daria A. Pozdnyakova<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>natalya.kluchko@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

<sup>2</sup>dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

**Abstract.** The article presents data from a survey of schoolchildren aged 15–16 years, showing their dietary preferences. It is emphasized that most teenagers prefer bakery and flour confectionery products as a snack. Therefore, it is important to increase the biological value of this product. It is also established that children do not consume enough fish protein, which is full-fledged and easily digestible. In this regard, the paper solves the problem of improving the technology of wheat crisp breads (crusty ends) by replacing part of the flour with rye and enriching it with protein and mineral additives. The latter is a composition obtained by the destruction of muscle, integumentary and bone tissues of fish raw materials in cheese whey. To determine the optimal parameters of this process, mathematical planning of the experiment has been carried out using a second-order central compositional plan for two factors: the degree of fineness of fish raw materials (2 times) and disaggregation duration (4 hours). The obtained protein-mineral additive is used in the production of rye-wheat loaves (crusty ends) by introducing it into the dough. The baked finished product is an attractive bakery product from light gray to light brown, well baked, with a uniform structure, without signs of undermixing, with a pleasant taste and smell with slightly pronounced fishy shades. The results of physico-chemical studies show an increase in the amount of protein by 47.3%, mineral substances – by 96.3 %. The indicator of the biological value of the protein is 124 %, which characterizes its balance. The utilitarianism coefficient of amino acids increases twice when a protein-mineral supplement is added to the standard recipe of bread, which indicates expediency of its introduction. It has been established that crisp breads are characterized by a high content of the most important mineral elements (potassium, calcium, magnesium, sodium, phosphorus), thus the new product is functional.

**Keywords:** nutrition of adolescents, enriched food products, bakery product, crisp breads, crusty ends, protein-mineral supplement, cod, cheese whey

**For citation:** Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A. Study on the technology improvement of bakery products enriched with a fish protein-mineral additive. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):103–111.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Подростковый возраст 15–16 лет является ключевым периодом в развитии человеческого организма, когда завершается формирование органов и систем, происходит резкая гормональная перестройка, возникают качественные изменения в нервно-психической сфере.

Рацион питания современного школьника не соответствует физиологическим потребностям его организма. Минздрав России отмечает недостаточное употребление им животного белка, а также дефицит витаминов и минеральных веществ, преобладание углеводно-жирового компонента и животных жиров, избыток простых углеводов в пище [1, 2].

Проведенный нами опрос подростков в возрасте 15–16 лет показал, что большинство их питается 3 раза в день (45 %), хотя остаются и те, кто ограничивается 1–2 приемами пищи (32 %) [3]. Основным перекусом опрашиваемых детей являются фрукты, пицца, бутерброды, булочки и сладости (рис. 1).

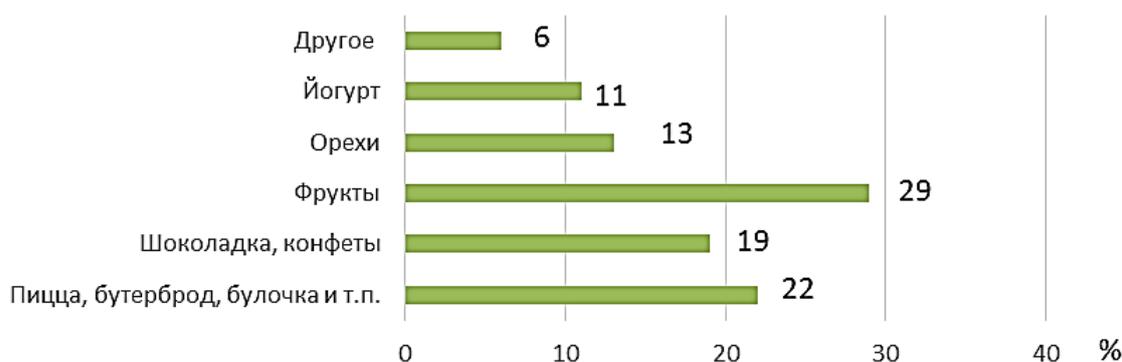


Рис. 1. Виды перекусов подростков 15–16 лет  
Fig. 1. Types of snacks for teenagers aged 15–16

Из рис. 1 видно, что 22 % приходится на хлебобулочные и мучные кондитерские изделия, которые, помимо школы, употребляются в достаточном объеме и дома. Опрос подтвердил, что сам хлеб – продукт ежедневного потребления большинства школьников, 48 % используют его каждый день. Самыми популярными среди хлебобулочных изделий являются хлеб из пшеничной (27 %) и ржано-пшеничной муки (25 %), с добавлением семян и орехов (19 %). В связи с этим актуально повышать биологическую ценность именно хлебобулочных изделий как продуктов, пользующихся наибольшим спросом среди детей.

Анализ рациона питания подростков также показал, что рыба – полноценный с биологической точки зрения продукт – популярна только у 17 %, поэтому обогащать хлебобулочные продукты, как изделия с высоким содержанием простых углеводов, рыбной белково-минеральной добавкой представляется актуальным [3–6].

Цель настоящей работы заключалась в совершенствовании технологии хлебных краюшек (хлебцев) из смеси ржаной и пшеничной муки путем их обогащения белково-минеральной добавкой на основе рыбного и молочного сырья.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве базовой использовали классическую рецептуру пшеничных хлебцев [7], заменив часть муки на ржаную и введя в состав теста рыбную белковую добавку. Последнюю готовили из измельченной мышечной ткани трески балтийской (*Gadus morhua*) методом горячего ферментолиза [8]. Готовый продукт имел привлекательные органолептические свойства, при этом запах и вкус рыбы отсутствовали. Исследование химического состава показало увеличение белка, но не отметило существенного прироста минеральных веществ. Вследствие этого нами было предложено использовать не только мышечную ткань рыбы, но и ее опорно-каркасные и покровные ткани. Последние – источник кальция, фосфора, белка коллагена, которые являются строительными компонентами для растущего организма подростка, укрепления его опорно-двигательного аппарата.

Для размягчения рыбных тканей применяли кислотно-ферментативный гидролиз в молочной сыворотке (подсырной). Она отличается низкой калорийностью и высокой биологической ценностью: содержит молочный белок, витамины группы В, а также комплекс таких минеральных соединений, как калий, натрий, кальций, магний, железо и др.

Для оптимизации процесса дезагрегации рыбного сырья тушку трески пропускали через волчок от 1 до 3 раз. Время дезагрегации варьировали от 2 до 4 ч. Гидромодуль "рыбный фарш : молочная подсырная сыворотка" составил 1:1 при температуре 20–22 °С. рН начальный рыбно-молочной смеси составил 5,8–6,0, что близко к оптимальному значению работы катепсинов мышечной ткани рыбного сырья, молочнокислой микрофлоры и химозина – сычужного фермента, остающегося в сыворотке после получения сыра.

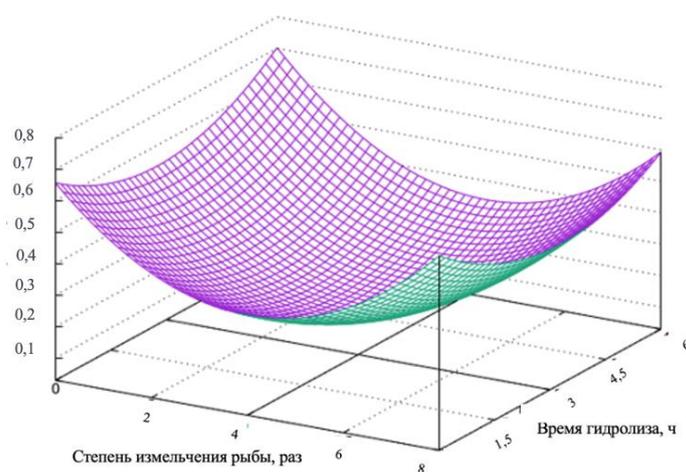


Рис. 2. Геометрическая модель оптимизации процесса дезагрегации рыбного сырья в молочной подсырной сыворотке

Fig. 2. Geometric model of optimization of the disaggregation process of fish raw materials in whey

Реализация плана эксперимента и обработка полученных данных позволили рассчитать уравнение, адекватно связывающее обобщенный параметр оптимизации с изменяемыми факторами, которое дает возможность максимально де-структурировать белково-минеральную массу при сохранении привлекательных ор-

ганолептических показателей. На рис. 2 показана геометрическая модель оптимизации процесса дезагрегации рыбного сырья в молочной подсырной сыворотке. Оптимальные параметры составили: 2,05 раза – степень измельчения рыбного сырья, принимаем соответственно 2 раза, 3,92 ч – продолжительность дезагрегации, принимаем 4 ч.

Дегустаторами проведена оценка контрольных и экспериментальных образцов продукции (соответственно, без и с введением белково-минеральной добавки) профильным методом по интенсивности с использованием разработанных характеристик. Индивидуальные оценки экспертов заносились в дегустационные листы, после чего был построен профиль вкуса данных образцов хлебобулочных изделий (рис. 3).

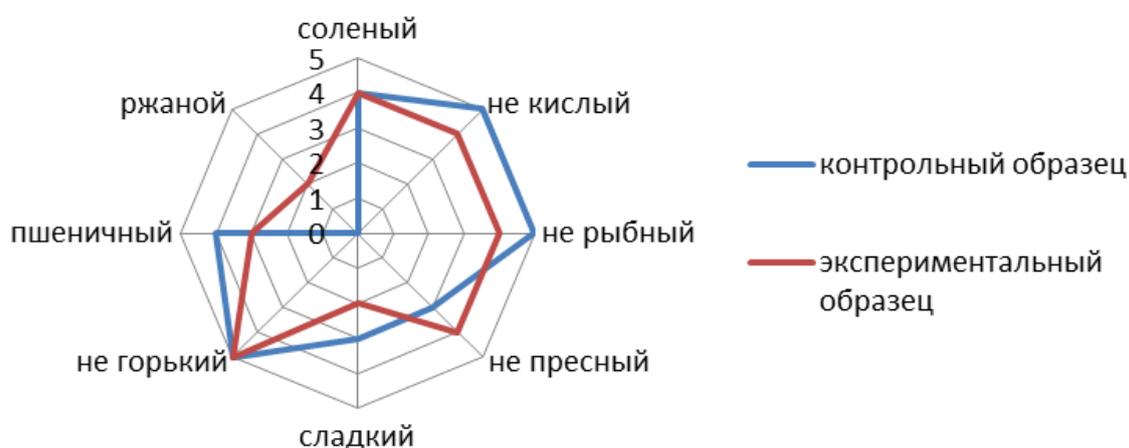


Рис. 3. Профиль вкуса хлебцев  
Fig. 3. Crisp bread flavor profile

Физико-химические показатели качества контрольных и экспериментальных образцов хлебобулочных изделий показаны в табл. 1. Результаты исследований продемонстрировали увеличение количества белка на 47,3, минеральных веществ – на 96,3 %.

В табл. 2 представлены результаты содержания аминокислот (АК) и сравнительного анализа аминокислотного сора экспериментальных и контрольных образцов. Из данных таблицы видно, что белок хлебцев с внесением белково-минеральной добавки более сбалансирован по составу. Показатель его биологической ценности равен 124 %, что и характеризует эту сбалансированность. Коэффициент утилитарности аминокислот возрос при добавлении в стандартную рецептуру хлебцев белково-минеральной добавки, что свидетельствует о целесообразности его введения в рецептуру для обогащения продукта полноценным животным белком, который так необходим для растущего организма.

Таблица 1. Физико-химические показатели экспериментальных и контрольных образцов хлебцев

Table 1. Physico-chemical parameters of experimental and control samples of bread

Наименование показателя	Экспериментальные образцы (с белково-минеральной добавкой)	Контрольные образцы (без белково-минеральной добавки)
Массовая доля влаги, %	31,10	31,00
Массовая доля белка, %	15,10	10,25
Массовая доля жира, %	0,70	0,85
Массовая доля углеводов, %*	50,45	56,55
Массовая доля минеральных веществ, %	2,65	1,35
Кислотность, рН	0,2	0,1
Энергетическая ценность продукта, ккал*	262,99	265,65

\* данные получены расчетным путем

Таблица 2. Расчетные показатели аминокислотного сора экспериментальных и контрольных образцов хлебцев

Table 2. Calculated indicators of amino acid score of experimental and control bread samples

Незаменимая АК	Содержание АК в белке "эталона" ФАО/ВОЗ, г/100 г	Контрольные образцы (без белково-минеральной добавки)		Экспериментальные образцы (с белково-минеральной добавкой)	
		Содержание АК, г/100 г белка	АК скор*, %	Содержание АК, г/100 г белка	АК скор*, %
Валин	5,00	4,5	90,00	4,89	97,80
Изолейцин + лейцин	11,00	9,18	83,45	10,19	92,64
Лизин	5,50	2,52	45,81	3,60	65,45
Метионин + цистин	3,50	2,60	74,29	3,59	102,57
Треонин	4,00	2,30	57,50	3,27	81,75
Триптофан	1,00	0,91	91,00	1,03	103,00
Фенилаланин + тирозин	6,00	7,39	123,16	7,44	124,00
Сумма:	36,00	29,4		34,01	
БЦ*, %		86,81		96,76	
Коэффициент утилитарности АК состава*, дол. ед.		0,62		0,79	

\* данные получены расчетным путем

В табл. 3 и 4 предложены результаты исследования минеральных веществ и расчета удовлетворения в их суточной потребности в классическом и обогащенном хлебулочном продуктах при употреблении 150 г хлебцев в сутки.

Таблица 3. Содержание минеральных веществ в хлебах  
Table 3. Content of mineral substances in crisp breads

Содержание минеральных веществ	Экспериментальные образцы (с белково-минеральной добавкой)	Контрольные образцы (без белково-минеральной добавки)	Суточная потребность*
Калий, мг%	270,00	220,00	2500 мг
Кальций, мг%	110,00	50,00	1000–1200 мг
Магний, мг%	50,00	29,40	400 мг
Натрий, мг%	730,00	720,00	1300 мг
Фосфор, мг%	220,00	200,00	800 мг
Железо, мг%	1,50	1,50	10–18 мг
Марганец, мг%	0,09	0,09	2 мг
Цинк, мг%	0,55	0,55	12 мг
Медь, мг%	0,01	0,01	1 мг
Селен, мкг%	4,44	4,44	5-70 мкг
Хром, мкг%	20,00	20,00	50–200 мкг

Примечание. \* На основании МР 2.3.1.2432-08 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ"

Таблица 4. Расчетные показатели в удовлетворении суточной потребности минеральных веществ в ржано-пшеничных хлебах, обогащенных белково-минеральной добавкой

Table 4. Calculated indicators in meeting the daily requirement of minerals in rye-wheat crisp breads enriched with a protein-mineral supplement

Содержание минеральных веществ	Количество, мг/150 г хлебов	Суточная норма потребности	Удовлетворение суточной потребности*	Функциональность продукта по данному компоненту
Калий, мг %	405,00	2500 мг	16,2	Функциональный
Кальций, мг %	165,00	1000 мг	16,5	"-
Магний, мг %	75,00	400 мг	18,75	"-
Натрий, мг %	1095	1300 мг	84,23	"-
Фосфор, мг %	330	800 мг	41,25	"-
Железо, мг %	2,25	14 мг	16,0	"-
Марганец, мг %	0,135	2 мг	6,75	Не функциональный
Цинк, мг %	0,81	12 мг	6,75	То же
Медь, мг %	0,015	1 мг	1,5	"-
Селен, мкг %	6,66	50 мкг	13,32	"-
Хром, мкг %	30,00	150 мкг	2,00	"-

Примечание. \* При употреблении 150 г хлебов в сутки, %

Из данных табл. 3 и 4 видно, что обогащенные хлебцы отличаются высоким содержанием наиболее значимых в питании минеральных элементов (калия, кальция, магния, натрия, фосфора), т. е. продукт является функциональным. Особое значение имеют микроэлементы, не синтезируемые организмом (медь, цинк, марганец).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия для подростков путем замены части пшеничной муки на ржаную, введения в тесто белково-минеральной добавки, полученной путем кислотно-ферментативного гидролиза измельченной тушки трески балтийской в подсырной молочной сыворотке, показали их перспективность. Обогащенный продукт содержит в 1,7 раза больше белка и минеральных веществ. Показатель биологической ценности белка в новых хлебцах равен 96,76 %, что характеризует его сбалансированность. Проведенный расчет функциональности готового продукта (при употреблении 150 г/сут) удовлетворяет суточную потребность (%): в калии – на 16,2; фосфоре – 41,3; магнии – 18,8; натрии – 84,2; железе – 16,0; кальции – 16,5. Данные соединения необходимы для укрепления растущего организма подростков.

## Список источников

1. Коденцова В. М., Громова О. А., Макарова С. Г. Микронутриенты в питании детей и применение витаминно-минеральных комплексов // Педиатрическая фармакология. 2015. Т. 12, № 5. С. 1–6.
2. О возможности использования продуктов гидролиза коллагена гидробионтов в технологии хлебобулочных изделий / Ключко Н. Ю. [и др.] // Наука и образование. 2021. № 4(2). С. 1–8.
3. Skipping breakfast and a meal at school: its correlates in adiposity context. report from the ABC of healthy eating study of polish teenagers / L. Wadolowska et al. // *Nutrients*. 2019. N. 11(7), P. 1563.
4. The effect of different levels of protein concentrate silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) to the profiles mineral production test breads / S. Ghaffari et al. // *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 2021. N. 18(111). P. 117–129.
5. Electronic sensory assessment of bread enriched with cobia (*Rachycentron canadum*) / G.A. Fagundes et al. // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. P. 1458.
6. Fish support-frame and integumentary tissues in food biotechnology / E. S. Zemlyakova et al. // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 689 012035. 2021. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/689/1/012035/pdf> (дата обращения: 14.05.2022).
7. Ершов П. С. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия. Санкт-Петербург, 2010. 191 с.
8. Черногорцев А. П. Переработка мелкой рыбы на основе ферментированного сырья. Москва, 1973. 152 с.

## References

1. Kodentsova V. M., Gromova O. A., Makarova S. G. Mikronutrienty v pitanii detey i primeneniye vitaminno-mineral'nykh kompleksov [Micronutrients in child nutrition and the use of vitamin and mineral complexes]. *Pediatricheskaya farmakologiya*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 1–6.
2. Klyuchko N. Yu. [and others]. O vozmozhnosti ispol'zovaniya produktov gidroliza kollagena gidrobiontov v tekhnologii khlebobulochnykh izdeliy [About the possibility of using hydrolysis products of collagen hydrobionts in the technology of bakery products]. *Nauka i obrazovanie*, 2021, no. 4(2), pp. 1–8.
3. Wadolowska L. et al. Skipping breakfast and a meal at school: its correlates in adiposity context. report from the ABC of healthy eating study of polish teenagers. *Nutrients*, 2019, no. 11 (7), p. 1563.
4. Ghaffari S. et al. The effect of different levels of protein concentrate silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) to the profiles mineral production test breads. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 2021, no. 18 (111), pp. 117–129.
5. Fagundes G. A. et al. Electronic sensory assessment of bread enriched with cobia (*Rachycentron canadum*). *Journal of Food Process Engineering*, 2021, pp. 1458.
6. Zemlyakova E. S. et al. Fish support-frame and integumentary tissues in food biotechnology. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 689 012035. 2021, available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/689/1/012035/pdf> (Accessed 14 May 2022).
7. Ershov P. S. *Sbornik retseptur na khleb i khlebobulochnye izdeliya* [Collection of recipes for bread and bakery products]. Saint-Petersburg, 2010, 191 p.
8. Chernogortsev A. P. *Pererabotka melkoy ryby na osnove fermentirovannogo syr'ya* [Processing of small fish based on fermented raw materials]. Moscow, 1973, 152 p.

## Информация об авторах

**Н. Ю. Ключко** – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

**Д. А. Позднякова** – магистрантка кафедры пищевой биотехнологии

## Information about the authors

**N. Yu. Klyuchko** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

**D. A. Pozdnyakova** – Master student; Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 23.05.2022; одобрена после рецензирования 27.05.2022; принята к публикации 31.05.2022

The article was submitted 23.05.2022; approved after reviewing 27.05.2022; accepted for publication 31.05.2022

Научная статья

УДК 621.837.7

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-112-126

### Динамический анализ базового механизма технологической машины

Владимир Георгиевич Сукиасов<sup>1</sup>, Наталья Александровна Серeda<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>vladimir.sukiasov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9661-9398>

<sup>2</sup>natalya.sereda@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7173-4408>

**Аннотация.** Приведен пример использования кривошипно-коромыслового механизма в составе двух машин – тихоходной и быстроходной. В первом случае базовый механизм является частью двухцилиндрового поршневого компрессора, во втором – входит в состав шестизвенного механизма. Последний содержит кривошипно-коромысловый механизм и присоединенную к коромыслу структурную группу Л. В. Ассура, содержащую кулису и пустотелую призму, шарнирно-связанную со стойкой.

Выполнен динамический анализ кривошипно-коромыслового механизма с определением полных реакций в его парах. На первом этапе установлен характер изменения компонента скорости и ускорения центра шатуна. Приведены диаграммы угловых скоростей шатуна и коромысла, выполнен анализ диаграмм. На втором этапе определены полные реакции в парах механизма от действия сил инерции его звеньев. Показано, что реакции в парах, образуемых кривошипом со стойкой и шатуном соответственно, изменяются идентично. Полная реакция в паре коромысло-стойка имеет осциллирующий характер изменения во времени. На третьем этапе помимо сил инерции звеньев учитывалось влияние сил тяжести на характер изменения реакций. Установлено, что при заданной угловой скорости кривошипа силы инерции вносят несущественный вклад в значения полных реакций в парах. На четвертом этапе динамического анализа механизма при определении реакций в его парах учитывали силы инерции и тяжести, а также силы трения. Коэффициент трения принят 0,4 во всех парах механизма. Учет трения при определении реакций приводит к их локальным всплескам в окрестности трех его положений, а именно: двух крайних положений и положения минимума угла передаточности. Показано, что полные реакции в парах базового механизма определяются преимущественно силами тяжести звеньев при выбранной угловой скорости кривошипа. В результате выполненного динамического анализа базового механизма получены параметры, необходимые для исследования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности звеньев механизма.

**Ключевые слова:** базовый механизм, тихоходная машина, компрессор, быстроходная машина, шестизвенный механизм, динамический анализ, кинематическая пара, реакции в парах, звено, силы тяжести, силы инерции, трение

**Для цитирования:** Сукиасов В. Г., Серeda Н. А. Динамический анализ базового механизма технологической машины // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 112–126.

Original article

### Dynamic analysis of the basic mechanism of a technological machine

Vladimir G. Sukiasov<sup>1</sup>, Natalya A. Sereda<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>vladimir.sukiasov@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9661-9398>

<sup>2</sup>natalya.sereda@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7173-4408>

**Abstract.** The paper presents an example of the use of a crank-rocker mechanism as a part of two machines: low-speed and high-speed. In the first case, the basic mechanism is a part of a two-cylinder reciprocating compressor, in the second case it is a part of a six-link mechanism. It contains a crank-rocker mechanism and it contains a crank-rocker mechanism and L.V. Assura's structural group. It contains a link and a hollow prism hinged to the post.

The dynamic analysis of the crank-rocker mechanism has been performed. The total reactions in its vapors have been determined. At the first stage, the nature of the change in the components of speed and acceleration of the center of the connecting rod is established. Diagrams of angular velocities of the connecting rod and rocker are given. The diagrams have been analyzed. At the second stage, the total reactions in the pairs of the mechanism from the action of inertia forces have been determined. It is shown that the reactions in pairs formed by a crank with a rack and with a connecting rod, respectively, change identically. The total reaction in the rocker-stand pair has an oscillating character of change in time. At the third stage, in addition to the forces of inertia, the influence of the nature gravity of the change in reactions has been taken into account. It has been established that at a given angular velocity of the crank, the inertial forces make an insignificant contribution to the values of the total reactions. At the fourth stage of the dynamic analysis of the mechanism, in determining the reactions, the forces of inertia and gravity, as well as the forces of friction, have been taken into account. The coefficient of friction is assumed to be 0.4 in all pairs of the mechanism. Accounting for friction when determining reactions leads to their local bursts in the vicinity of its three positions. These are the two extreme positions and the minimum position of the transmission angle. The total reactions in the pairs of the basic mechanism are determined mainly by the gravity forces of the links at the chosen angular velocity of the crank. As a result of the performed dynamic analysis of the basic mechanism, the parameters have been obtained. They are needed to study the stress-strain state and assess the strength of the mechanism links.

**Keywords:** basic mechanism, low-speed machine, compressor, high-speed machine, six-link mechanism, dynamic analysis, kinematic pair, reactions in pairs, link, gravity, inertial forces, friction

**For citation:** Sukiasov V. G., Sereda N. A. Dynamic analysis of the basic mechanism of a technological machine. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):112–126.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию базового кривошипно-коромыслового механизма, относящегося к семейству с условным обозначением ККМ-1 [1]. Известна кинематическая схема машины, применяемой для передачи силовых нагрузок. Такая машина содержит базовый механизм семейства ККМ-1. Два цилиндра 7 упомянутой машины параллельны друг другу. Каждый поршень 6 цилиндров 7 шарнирно связан с шатунами 4 и 5. Названные шатуны 4 и 5 также расположены параллельно друг другу в крайних положениях базового механизма. Оба шатуна образуют кинематические пары с коромыслом 3. Коромысло 3 выполнено трехплечим. Два плеча расположены горизонтально относительно стойки в положении механизма, когда кривошип перпендикулярен линии центров  $OO_1$ . Длины плеч коромысла  $C_1O_1$ ,  $E_1O_1$  и  $B_1O_1$  одинаковы. Трехплечее коромысло образует вращательные кинематические пары с шатунами, взаимодействующими с названными поршнями цилиндров, а также с шатуном 2, связанным с кривошипом 1.

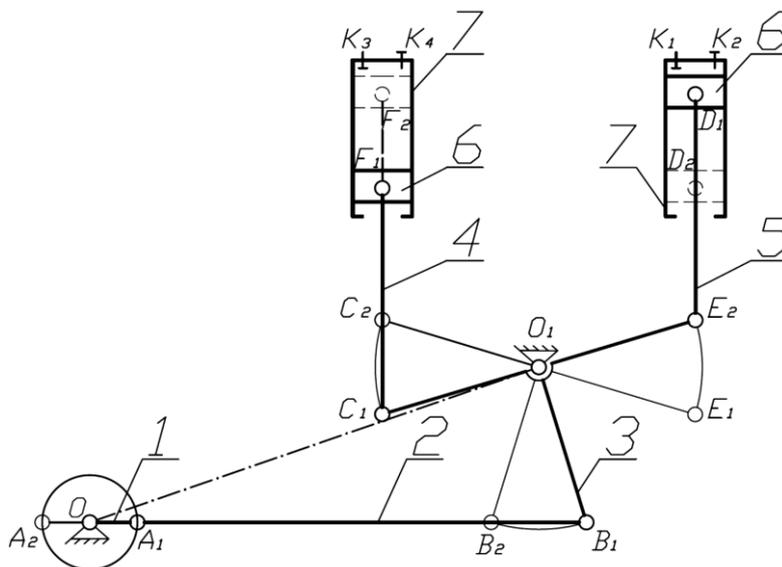


Рис. 1. Кинематическая схема двухцилиндрового компрессора [1]

Fig. 1. Kinematic diagram of a two-cylinder compressor [1]

Известна кинематическая схема машины [2], используемой для передачи изделий в товарной упаковке. Названная машина содержит кривошипно-коромысловый механизм семейства ККМ-1. Кривошип и коромысло укреплены на стойке. Коромысло связано с шатуном и кулисой, образуя кинематическую пару в виде сложного шарнира. Кулиса входит в поступательную пару с кулисным камнем, шарнирно связанным со стойкой. На кулисе размещен захват для изделий, приводимый в движение рычагами.

Машина для передачи изделий отличается быстроходностью. Цель исследования – динамический анализ базового механизма с определением реакций в его парах. В отечественной и зарубежной литературе вопросы кинематического и динамического анализа базовых механизмов рассматриваются в следующих источниках [3–8].

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ В ПАРАХ МЕХАНИЗМА ОТ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТЯЖЕСТИ ЗВЕНЬЕВ

Установлены числовые значения реакций в парах базового механизма семейства ККМ-1 в функции угла поворота кривошипа [3–5]. Принято, что отсчет названного угла начинается от его крайнего правого положения (кривошип и шатун вытянуты в одну линию) в направлении против хода часовой стрелки. Длины кривошипа и стойки соответственно 40 и 100 мм. Шатун и коромысло равны и составляют по длине 76,16 мм. Частота вращения кривошипа – 60 об/мин. Определение реакций выполнено графоаналитическим методом с применением программы AutoCAD [3–8]. В процессе определения реакций в парах базового механизма учитывалось влияние только сил тяжести звеньев механизма – кривошипа  $G_1$ , шатуна  $G_2$  и коромысла  $G_3$ . Принято, что силы тяжести шатуна и коромысла равны и составляют 1 Н, сила тяжести кривошипа – 0,5 Н. Значения сил тяжести звеньев взяты условно. На рис. 2 приведены графические интерпретации нормальных, тангенциальных, а также полных реакций в парах исследуемого механизма.

Выполним анализ данных, приведенных на рис. 2. Полная реакция  $R_{12}$  в паре кривошип–шатун возрастает до максимального значения и медленно убывает к концу цикла работы базового механизма. Характер изменения полной силы  $R_{01}$  в паре кривошип–стойка аналогичен. Полная реакция  $R_{23}$  в паре шатун–коромысло в начале движения кривошипа возрастает до максимального значения, остается постоянной и далее интенсивно снижается до минимума. К концу цикла работы механизма реакция  $R_{23}$  несколько повышается.

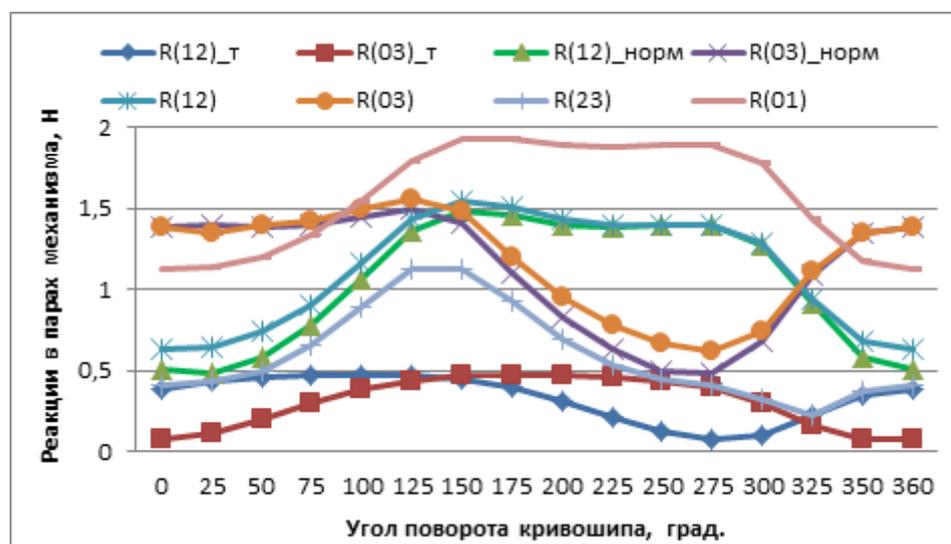


Рис. 2. Реакции в парах базового механизма в функции угла поворота кривошипа  
Fig. 2. Reactions in pairs of the basic mechanism as a function of the crank angle

Сила  $R_{03}$  в паре коромысло–стойка остается приближенно постоянной, возрастает до максимума, далее интенсивно снижается. К концу цикла работы механизма упомянутая сила интенсивно возрастает.

## 2. ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА

Динамическое исследование базового механизма выполнено поэтапно с использованием модуля SolidWorks Motion. Твёрдотельная модель механизма показана на рис. 3, *a* в крайнем правом положении, когда продольные оси кривошипа и шатуна образуют одну линию. Материал звеньев – литая углеродистая сталь плотностью  $7800 \text{ кг/м}^3$ ; материал шарниров – бронза плотностью  $8300 \text{ кг/м}^3$ . Размеры звеньев механизма и описание движения кривошипа приведены в разделе 1.

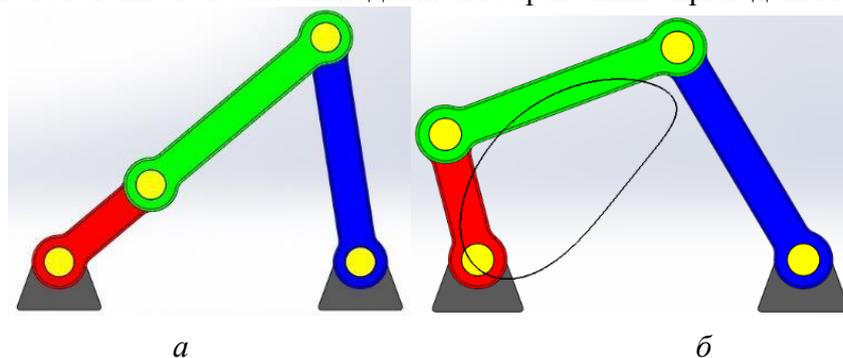


Рис. 3. Базовый механизм:

*a* – модель в крайнем правом положении; *б* – траектория центра шатуна

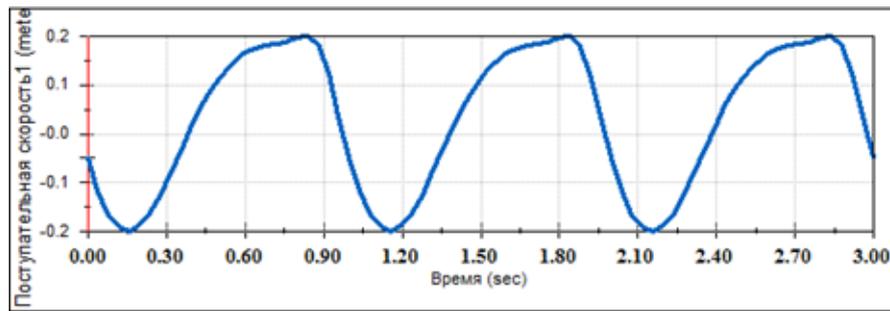
Fig. 3. Basic mechanism:

*a* – model in the extreme right position; *b* – trajectory of the connecting rod center

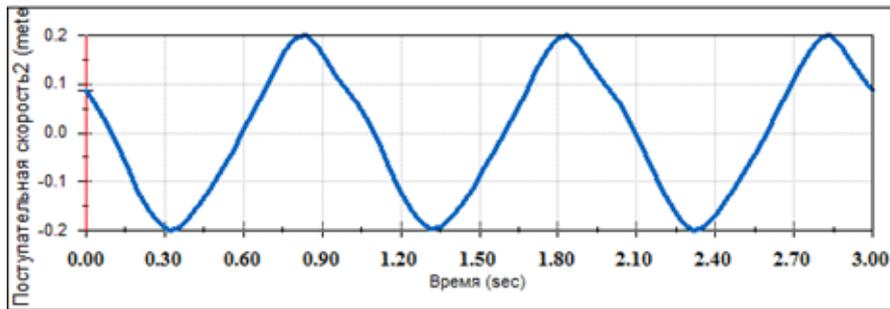
Представленные результаты получены в ходе 3-секундных испытаний модели, что соответствует трем полным оборотам кривошипа. Характер движения звеньев механизма иллюстрируют рис. 3, *б*; 4 и 5, где показаны траектория, компоненты скорости и ускорения центра шатуна. На рис. 6 и 7 представлено изменение во времени соответственно угловых скоростей и ускорений шатуна и коромысла. Положительные значения компонента скорости и ускорения центра шатуна соответствуют направлениям вправо и вверх, а отрицательные – влево и вниз.

Компоненты скорости центра шатуна изменяются по симметричному циклу. У вертикальной составляющей скорости характер изменения близок к гармоническому закону, когда интервал между минимумом и максимумом значений составляет  $\frac{1}{2}$  оборота кривошипа. Горизонтальная и вертикальная составляющие скорости центра шатуна достигают наибольших положительных значений практически синхронно. У компонента ускорения центра шатуна симметрия цикла нарушается: отрицательные значения преобладают над положительными.

Диаграммы угловых скоростей шатуна и коромысла имеют по два участка возрастания и убывания в интервале цикла работы механизма. Точки минимума угловой скорости коромысла отчетливо соответствуют крайнему правому положению и  $\frac{1}{2}$  оборота кривошипа. Указанные диаграммы обнаруживают определенное сходство, особенно при зеркальном отражении одной из них относительно вертикальной оси. Диаграммы угловых ускорений шатуна и коромысла имеют по три участка возрастания и убывания в пределах цикла работы механизма (см. рис. 7, *a* и *б*). Два локальных максимума (как и два локальных минимума) на графике углового ускорения коромысла практически совпадают по величине.



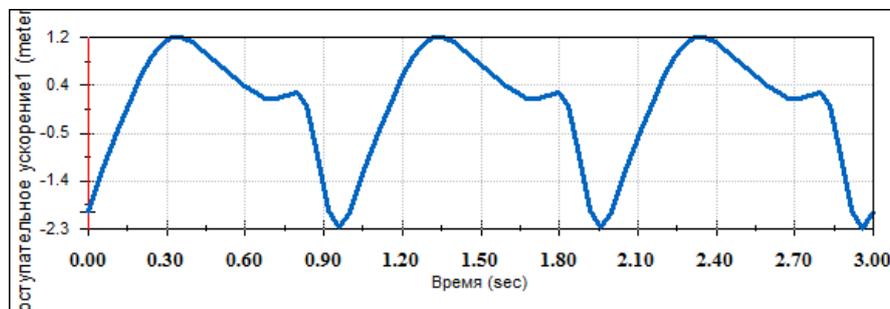
*a*



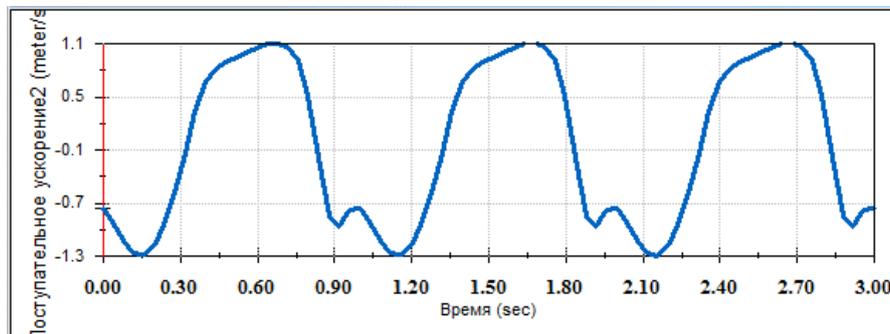
*b*

Рис. 4. Компоненты скорости  $v$  (м/с) центра шатуна:  
*a* – в горизонтальном направлении; *b* – в вертикальном направлении

Fig. 4. Velocity components  $v$  (m/s) of the connecting rod center:  
*a* – in the horizontal direction; *b* – in the vertical direction



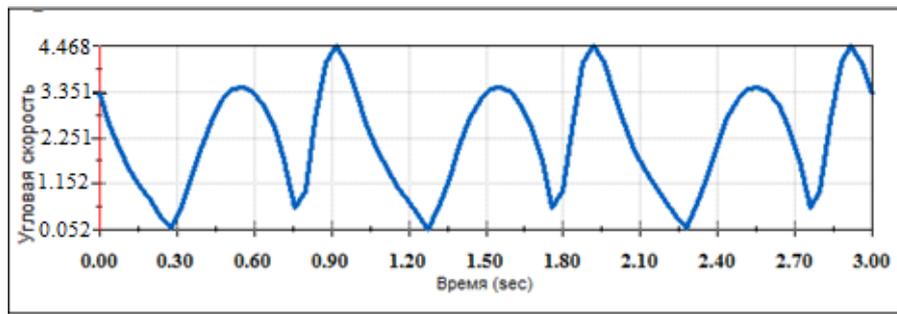
*a*



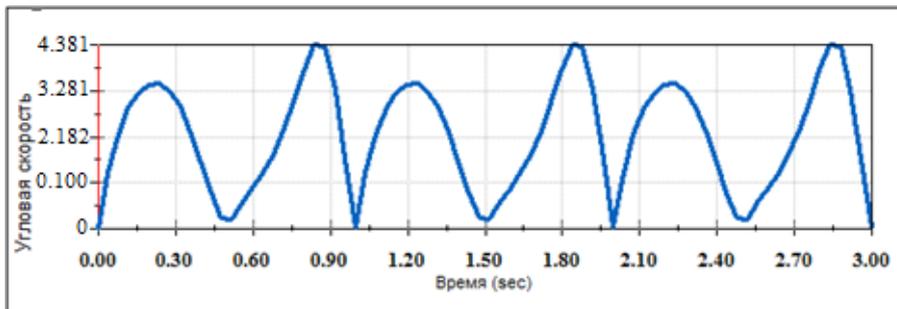
*b*

Рис. 5. Компоненты ускорения  $a$  (м/с<sup>2</sup>) центра шатуна:  
*a* – в горизонтальном направлении; *b* – в вертикальном направлении

Fig. 5. Acceleration components  $a$  (m/s<sup>2</sup>) of the connecting rod center:  
*a* – in the horizontal direction; *b* – in the vertical direction



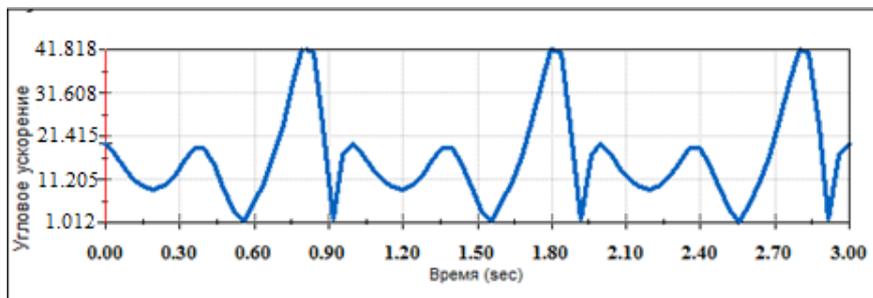
*a*



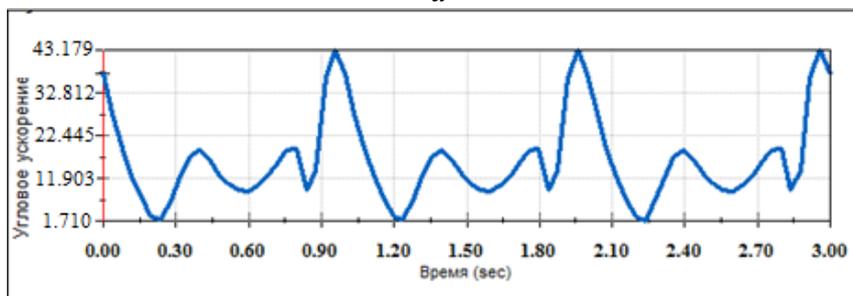
*б*

Рис. 6. Угловые скорости  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ) звеньев базового механизма:  
*a* – шатуна; *б* – коромысла

Fig. 6. Angular velocities  $\omega$  ( $\text{s}^{-1}$ ) of the basic mechanism links:  
*a* – connecting rod; *b* – rocker arm



*a*



*б*

Рис. 7. Угловые ускорения  $\varepsilon$  ( $\text{с}^{-2}$ ) звеньев базового механизма:  
*a* – шатуна; *б* – коромысла

Fig. 7. Angular accelerations  $\varepsilon$  ( $\text{s}^{-2}$ ) of the basic mechanism links:  
*a* – connecting rod; *b* – rocker arm

Результаты динамического анализа базового механизма с учетом только сил инерции изображены на рис. 8 и 9 в виде зависимостей от времени полных реакций в парах механизма.

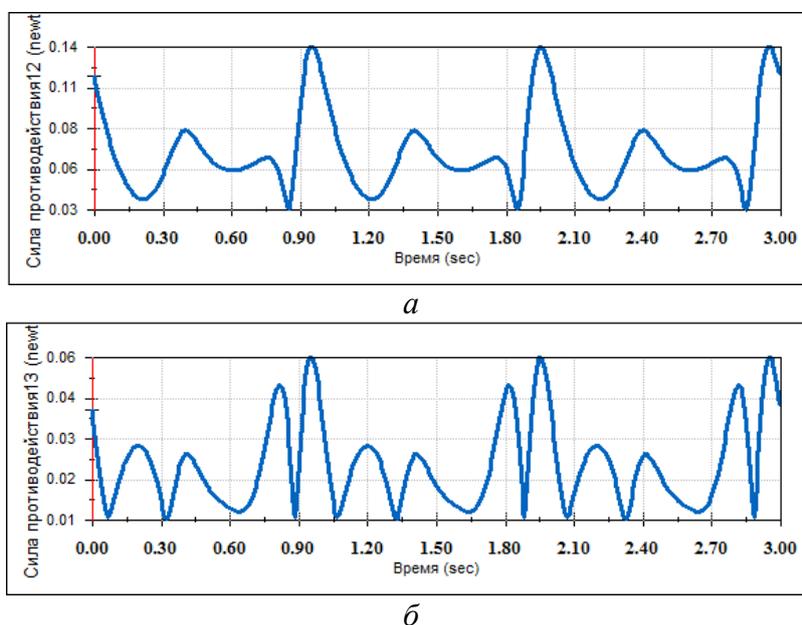


Рис. 8. Реакции в парах базового механизма (Н) с учетом сил инерции:  
*a* – полная реакция  $R_{01}$ ; *б* – полная сила  $R_{03}$   
Fig. 8. Reactions in pairs of the basic mechanism (N) taking into account the inertia forces: *a* – full reaction  $R_{01}$ ; *b* – full strength  $R_{03}$

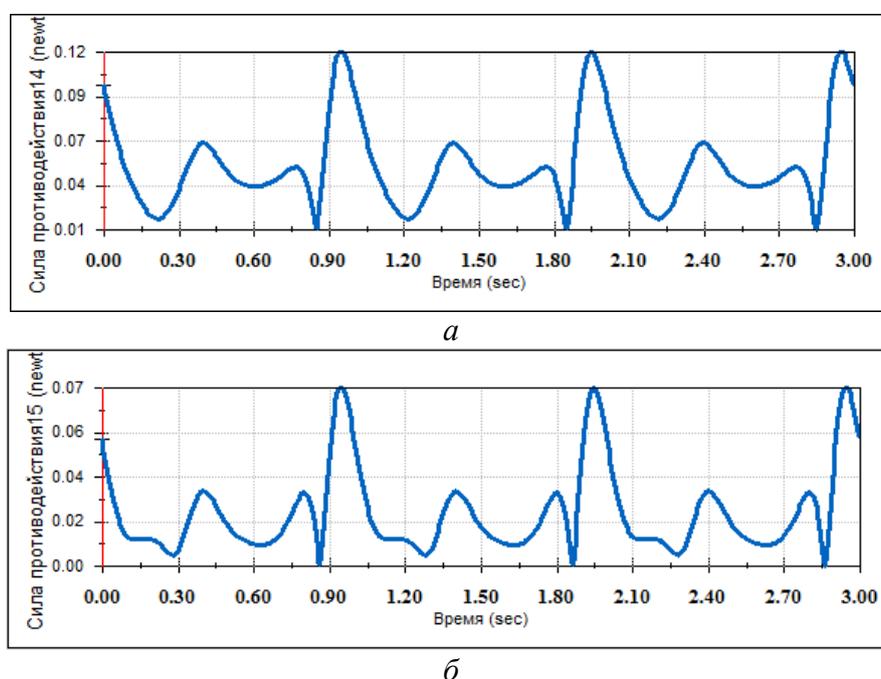


Рис. 9. Реакции в парах базового механизма (Н) с учетом сил инерции:  
*a* – полная реакция  $R_{12}$ ; *б* – полная сила  $R_{23}$   
Fig. 9. Reactions in pairs of the basic mechanism (N) taking into account the inertia forces: *a* – full reaction  $R_{12}$ ; *b* – full strength  $R_{23}$

Следует отметить внешнее сходство кривых и близость числовых значений реакций в парах кривошипа  $R_{01}$  и  $R_{12}$ . Имея по два локальных максимума и минимума в течение цикла работы механизма, эти реакции резко снижаются в последней четверти цикла, чтобы затем круто подняться до максимальных значений незадолго до его завершения. Подобным образом проявляют себя и реакции в парах коромысла  $R_{03}$  и  $R_{23}$ , однако у  $R_{03}$  наблюдаются более резкие перепады значений, что придает зависимости реакции  $R_{03}$  от времени осциллирующий характер.

Учет сил тяжести, помимо сил инерции, заметно меняет вид получаемых зависимостей, что иллюстрируют рис. 10 и 11. Характер изменения кривых имеет более плавный вид по сравнению с рис. 8 и 9. При существенном возрастании числовых значений это объясняется появлением дополнительной односторонней нагрузки.

В данном случае имеет место очевидное подобие кривых  $R_{01}$  и  $R_{12}$ . Обращает на себя внимание практически синхронное достижение глобального максимума всеми четырьмя реакциями в положении механизма, когда кривошип располагается вблизи продолжения линии центров неподвижных опор. Короткий участок стабильности реакции  $R_{03}$  в паре коромысло–стойка при добавлении сил тяжести смещается вперед примерно на  $\frac{1}{2}$  оборота кривошипа. В пределах одного цикла реакции в парах механизма обнаруживают качественное сходство с кривыми на рис. 2, полученными графоаналитическим методом силового анализа с учетом только сил тяжести звеньев. Это подтверждает несущественный вклад сил инерции в полные значения реакций в парах при заданной величине угловой скорости кривошипа.

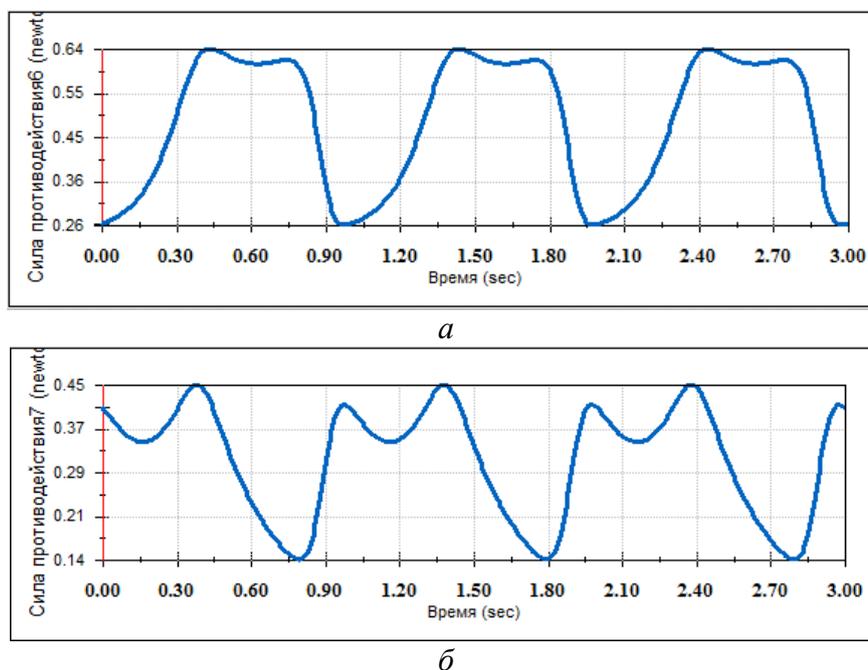


Рис. 10. Реакции в парах базового механизма (Н) с учетом сил инерции и тяжести:  
 $a$  – полная реакция  $R_{01}$ ;  $b$  – полная сила  $R_{03}$

Fig. 10. Reactions in pairs of the basic mechanism (N), taking into account the inertia forces and gravity:  
 $a$  – full reaction  $R_{01}$ ;  $b$  – full strength  $R_{03}$

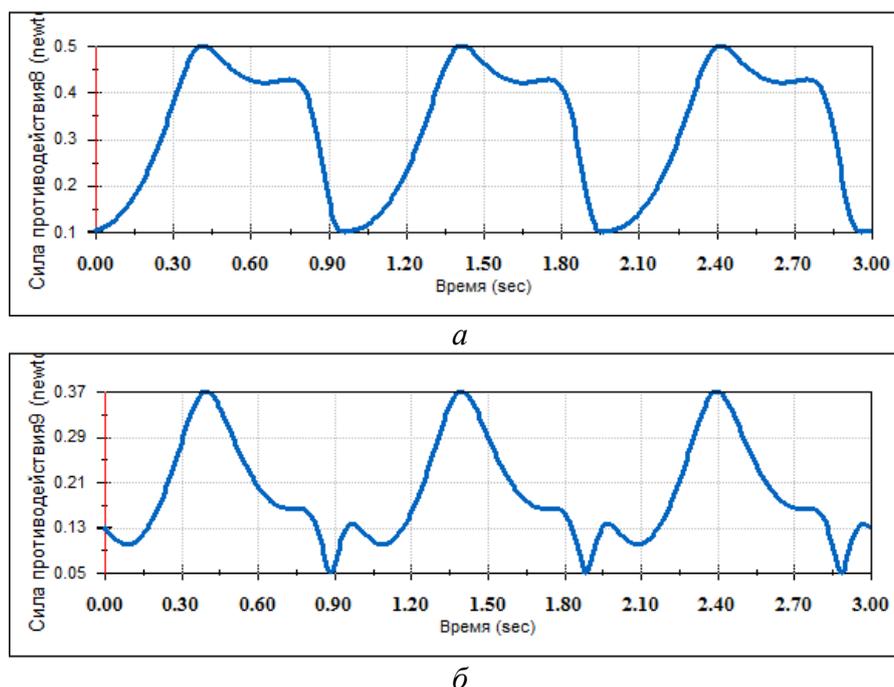
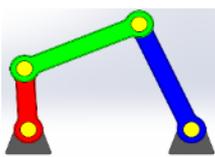


Рис. 11. Реакции в парах базового механизма (Н) с учетом сил инерции и тяжести:  
 а – полная реакция  $R_{12}$ ; б – полная сила  $R_{23}$   
 Fig. 11. Reactions in pairs of the basic mechanism (N), taking into account the inertia forces and gravity: a – full reaction  $R_{12}$ ; b – full strength  $R_{23}$

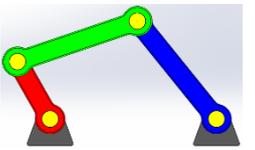
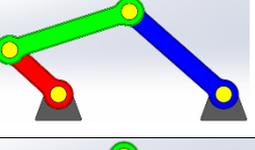
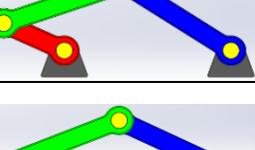
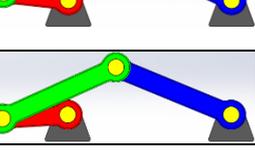
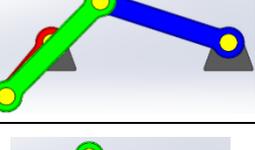
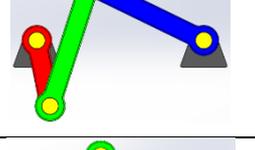
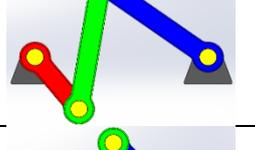
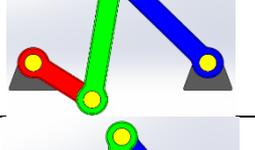
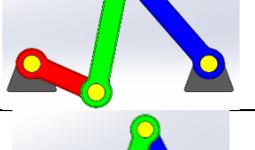
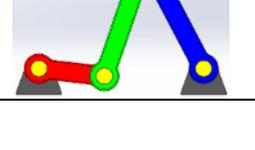
Данные о результатах кинематического и динамического анализа сведены в табл. 1, где для характерных точек представленных выше диаграмм показаны соответствующие положения звеньев механизма, упорядоченные в последовательности вращения против часовой стрелки.

В частности, максимум углового ускорения шатуна и локальный максимум углового ускорения коромысла соответствуют положению механизма, когда центры шатуна и коромысла располагаются на одной линии с центром шарнира, образуемого кривошипом и стойкой.

Таблица 1. Положения звеньев механизма и точки на диаграммах  
 Table 1. Positions of the mechanism's links and the points on the diagrams

Положение звеньев	Кинематика	Динамика	
		силы инерции	силы инерции и тяжести
1	2	3	4
	max $v$ центра влево max $a$ центра вниз		

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
	min $\varepsilon$ коромысла	локальный max $R_{03}$	
	min $\omega$ шатуна		
	max $v$ центра вниз max $a$ центра вправо	min $R_{03}$	
	локальный max $\varepsilon$ шатуна	локальный max $R_{01}$ локальный max $R_{12}$ локальный max $R_{23}$	max $R_{03}$ max $R_{23}$
	локальный max $\varepsilon$ коромысла	локальный max $R_{03}$	max $R_{01}$ max $R_{12}$
	локальный max $\omega$ шатуна		
	max $a$ центра вверх		
		локальный max $R_{01}$ локальный max $R_{12}$	локальный max $R_{01}$
	max $\varepsilon$ шатуна локальный max $\varepsilon$ коромысла	локальный max $R_{23}$	локальный max $R_{12}$ min $R_{03}$
	max $v$ центра вправо max $v$ центра вверх max $\omega$ коромысла	локальный max $R_{03}$	
		min $R_{12}$ min $R_{23}$ min $R_{01}$ min $R_{03}$	min $R_{23}$

Представленные выше данные получены без учета трения в парах базового механизма. В ходе динамического анализа механизма было учтено трение с коэффициентом 0,4 во всех четырех шарнирах в сочетании с силами инерции и силами тяжести. Графики реакций показаны на рис. 12 и 13.

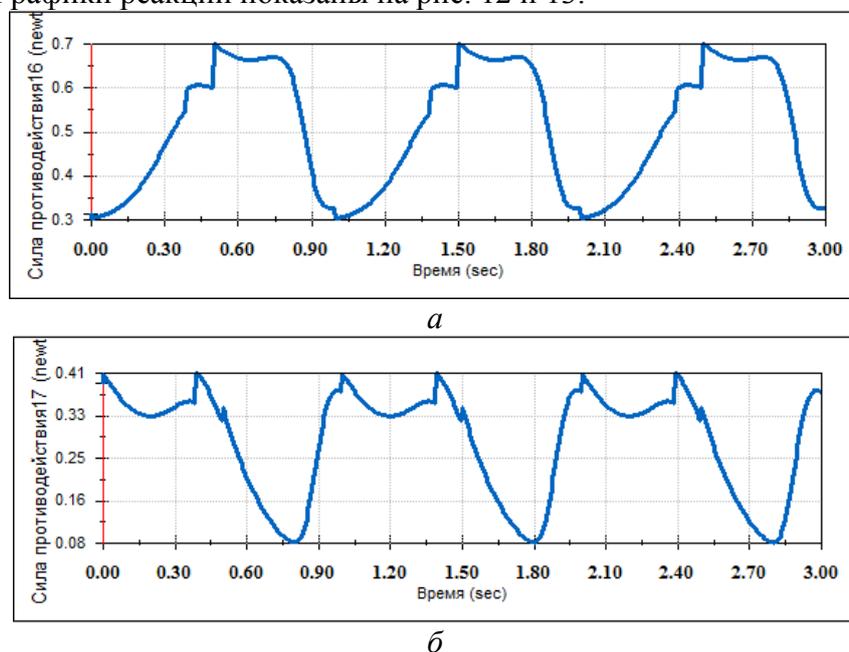


Рис. 12. Реакции в парах базового механизма (Н) при наличии трения:  
*a* – полная реакция  $R_{01}$ ; *б* – полная сила  $R_{03}$   
Fig. 12. Reactions in pairs of the basic mechanism (N) in the presence of friction:  
*a* – full reaction  $R_{01}$ ; *b* – full strength  $R_{03}$

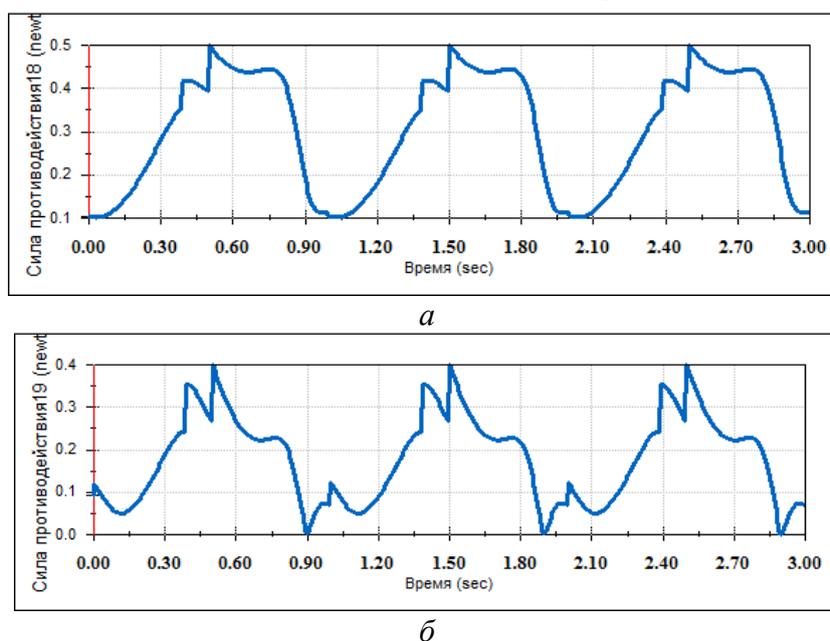


Рис. 13. Реакции в парах базового механизма (Н) при наличии трения:  
*a* – полная реакция  $R_{12}$ ; *б* – полная сила  $R_{23}$   
Fig. 13. Reactions in pairs of the basic mechanism (N) in the presence of friction:  
*a* – full reaction  $R_{12}$ ; *b* – full strength  $R_{23}$

Как и при отсутствии трения, имеет место внешнее сходство реакций  $R_{12}$  и  $R_{01}$ . Сохраняя примерно те же числовые значения и общий характер изменения во времени, диаграммы приобретают сингулярную форму с выраженными локальными всплесками в окрестности показанных на рис. 14 положений механизма.

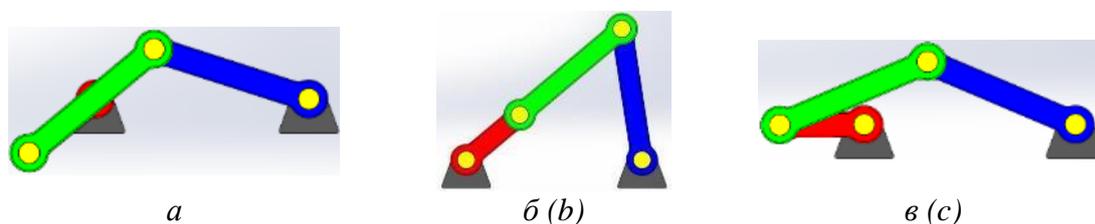


Рис. 14. Положения звеньев механизма:  
 $a$  – крайнее левое положение;  $b$  – крайнее правое положение;  
 $c$  – наименьший угол передачи

Fig. 14. Positions of the mechanism's links:  $a$  – extreme left position;  $b$  – extreme right position;  $c$  – the smallest transmission angle

Переход через данные положения при учете трения дает скачкообразное изменение реакций в парах, что особенно заметно для реакции  $R_{23}$  в паре шатун–коромысло. Учет трения не меняет картину полных реакций в парах механизма.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет трения не влияет на характер изменения полных реакций в парах, возникают лишь пиковые значения полных сил на части цикла работы механизма. Характер изменения сил в парах базового механизма, полученный с учетом сил тяжести и инерции звеньев, идентичен характеру, определенному графоаналитическим методом от действия только сил тяжести. В результате выполненного динамического анализа базового механизма получен набор внешних нагрузок на механизм, что позволяет использовать их при численном исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) с целью оценки прочности и жесткости его звеньев.

#### Список источников

1. Механизм для передачи силовых нагрузок: пат. 2127842 Рос. Федерация. № 98108118/28 / Горлатов А. С.; заявл. 30.04.1998; опубл. 20.03.1999. Бюл. № 4. 8 с.
2. Манипулятор для передачи изделий: пат. 2356726 Рос. Федерация. № 2007136532/02 / Горлатов А. С., Середа Н. А.; заявл. 02.10.2007; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15. 5 с.
3. Антовиль А. М. Теория механизмов и машин. Москва: Высшая школа, 1961. 254 с.
4. Семенов Ю. А., Семенова Н. С. Динамические ошибки в машине с упругими звеньями // Теория механизмов и машин. 2019. Т. 17. № 2 (42). С. 61–68.

5. Жога В. В., Вершинина И. П. Динамический анализ плоских стержневых механизмов // Теория механизмов и машин. 2018. Т. 16. № 4 (40). С. 150–161.
6. Evgrafov A. N., Babichev D. T., Lebedev S. Y. Flat lever mechanisms: new strategy for kinematic analysis and computer simulation of motion // Mechanisms and Machine Science. 2019, № 3, P. 537–548.
7. Evgrafov A. N., Andrienko P. A. The role of St. Petersburg scientists of the XVIII–XIX centuries in the development of machines and mechanisms science // International Review of Mechanical Engineering. 2016, № 10 (5), P. 312–321.
8. Evgrafov A. N., Petrov G. N. Calculation of the geometric and kinematic parameters of a spatial leverage mechanism with excessive coupling // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013, № 42 (3), P. 179–183.

### References

1. Gorlatov A. S. Mekhanizm dlya peredachi silovykh nagruzok [Mechanism for transferring power loads]. Patent RF 2127842, no. 98108118/28, 1999.
2. Gorlatov A. S., Sereda N. F. Manipulyator dlya peredachi izdeliy [Manipulator for the transfer of products]. Patent RF 2356726, no. 2007136532/02, 2009.
3. Antoville A. M. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1961, 254 p.
4. Semenov Yu. A., Semenova N. S. Dinamicheskie oshibki v mashine s uprugimi zven'yami [Dynamic errors in a machine with elastic links]. *Teoriya mekhanizmov i mashin*, 2019, no. 2 (42), pp. 61–68.
5. Zhoga V. V., Vershinina I. P. Dinamicheskiy analiz ploskikh sterzhnevyykh mekhanizmov [Dynamic analysis of flat bar mechanisms]. *Teoriya mekhanizmov i mashin*, 2018, no. 4 (40), pp. 150–161.
6. Evgrafov A. N., Babichev D. T., Lebedev S. Y. Flat lever mechanisms: new strategy for kinematic analysis and computer simulation of motion. *Mechanisms and Machine Science*, 2019, no. 3, pp. 537–548.
7. Evgrafov A. N., Andrienko P. A. The role of St. Petersburg scientists of the XVIII–XIX centuries in the development of machines and mechanisms science. *International Review of Mechanical Engineering*, 2016, no. 10 (5), pp. 312–321.
8. Evgrafov A. N., Petrov G. N. Calculation of the geometric and kinematic parameters of a spatial leverage mechanism with excessive coupling. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2013, no. 42 (3), pp. 179–183.

### Информация об авторах

**В. Г. Сукиасов** – кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин

**Н. А. Серeda** – кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин

**Information about the authors**

**V. G. Sukiasov** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts

**N. A. Sereda** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts

Статья поступила в редакцию 11.01.2022; одобрена после рецензирования 27.01.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 11.01.2022; approved after reviewing 27.01.2022; accepted for publication 15.07.2022

**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



Научная статья  
УДК 629.5.064.5  
DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-129-142

**Результаты экспериментальных и расчетных исследований электромагнитных помех, генерируемых электрооборудованием судовых энергетических установок и их элементов с нелинейными характеристиками**

**Валерий Феодосиевич Белей<sup>1</sup>, Роман Олегович Брижак<sup>2</sup>, Кирилл Викторович Коротких<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>vbeley@klgtu.ru

<sup>2</sup>brizhak12@gmail.com

<sup>3</sup>kirill-korotkikh@bk.ru

**Аннотация.** Показано, что использование в судовых энергетических установках и их элементах полупроводниковой преобразовательной техники и электротехнологий с нелинейными характеристиками обуславливает в судовых электроэнергетических системах электромагнитные помехи, основу которых составляют высшие гармоники. Приведен и дан анализ показателей качества электроэнергии, регламентирующих гармоники напряжения и тока в системах электрооборудования. С целью разработки решений и подходов по обеспечению электромагнитной совместимости электрооборудования судовых энергоустановок и их элементов выполнены экспериментальные исследования электромагнитных помех, обусловленных работой судового электрооборудования, реализованного на основе элементов с нелинейными характеристиками, а также расчетные исследования на математической модели распространения высших гармонических тока и напряжения по элементам судовой электроэнергетической системы. Исследования высших гармонических были проведены в электроэнергетической системе учебного парусного судна "Крузенштерн". Анализ результатов исследований судового электрооборудования – полупроводниковых преобразователей, силовых трансформаторов, частотно-регулируемых электропроводов, светодиодных светильников и др. – показал, что при их работе имеет место эмиссия нечетных гармоник тока от третьей и выше в судовую электроэнергетическую систему. Приведены результаты исследований распространения высших гармонических и связанных с ними эффектов на математической модели, разработанной на основе схемы замещения судовой электроэнергетической системы для высших гармоник нечетного порядка, некратных трем. На математической модели оценен вклад на суммарный коэффициент гармонических составляющих по напряжению от полупроводниковых преобразователей, питающих нагрузку постоянного тока. Установлена взаимосвязь от влияния высших гармонических на работу асинхронных электродвигателей.

**Ключевые слова:** судовые энергоустановки, электромагнитные помехи, судовое электрооборудование, судовая электроэнергетическая сеть, высшие гармоники, ток, напряжение.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90128\20.

**Для цитирования:** Белей В. Ф., Брижак Р. О., Коротких К. В. Результаты экспериментальных и расчетных исследований электромагнитных помех, генерируемых электрооборудованием судовых энергетических установок и их элементов с нелинейными характеристиками // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 129–142.

Original article

### **Results of experimental and computational studies of electromagnetic interference generated by the electrical equipment of ship power facilities and their elements with non-linear characteristics**

**Valeriy F. Beley<sup>1</sup>, Roman O. Brizhak<sup>2</sup>, Kirill V. Korotkikh<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>vbeley@klgtu.ru

<sup>2</sup>brizhak12@gmail.com

<sup>3</sup>kirill-korotkikh@bk.ru

**Abstract.** It is shown that the use of semiconductor converter equipment and electrical technologies with non-linear characteristics in ship power facilities and their elements causes electromagnetic interference in ship power systems, which are based on higher harmonics. The paper presents the analysis of the power quality indicators that regulate voltage and current harmonics in power supply systems. In order to develop solutions and approaches to ensure the electromagnetic compatibility of electrical equipment of ship power plants and their elements, the following have been performed: experimental studies of electromagnetic interference caused by the operation of ship electrical equipment, implemented on the basis of elements with non-linear characteristics; computational studies on a mathematical model of the propagation of higher harmonics of current and voltage through the elements of the ship's electric power system. Experimental studies of power quality indicators - higher harmonics, caused by the operation of electrical equipment with non-linear characteristics, have been carried out in the electric power system of the "Kruzenshtern" sailing training vessel. An analysis of the results of experimental studies of ship electrical equipment: semiconductor converters, power transformers, frequency-controlled electrical wires, LED lamps, and others showed that during their operation, odd current harmonics from the third and higher are emitted into the ship's electrical power system. The results of studies of the propagation of higher harmonic and related effects on a mathematical model developed on the basis of the equivalent circuit of a ship's electric power system for higher harmonics of an odd order, not multiples of three, are presented. On the mathematical model, the contribution has been estimated to the total coefficient of harmonic voltage components from semiconductor converters that feed the DC load. A relationship has been established from the influence of higher harmonics on the operation of asynchronous electric motors.

**Keywords:** ship power facilities, electromagnetic interference, ship electrical equipment, ship power network, higher harmonics, current, voltage.

**Funding:** the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project no. 20-38-90128\20.

**For citation:** Beley V. F., Brizhak R. O., Korotkikh K. V. Results of experimental and computational studies of electromagnetic interference generated by the electrical equipment of ship power facilities and their elements with non-linear characteristics // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):129–142.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение на судах полупроводниковой преобразовательной техники и электротехнологий, реализованных на нелинейных элементах, обуславливают в судовых электроэнергетических системах кондуктивные электромагнитные помехи, основу которых составляют высшие гармонические. Гармоники тока, эмиссируемые в сеть нелинейными элементами электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов, распространяясь по элементам электроэнергетической системы, вызывают ряд негативных явлений: снижение эффективности генерации, передачи и использования электрической энергии; увеличение токов и напряжений гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов; старение изоляции электрооборудования судовых энергоустановок и их элементов, сокращение вследствие этого его срока службы; ложную работу оборудования; шум в линиях связи. По мнению специалистов, решение проблемы высших гармонических является одной из важнейших при обеспечении электромагнитной совместимости работы электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов. С целью разработки решений и подходов по обеспечению электромагнитной совместимости судового электрооборудования необходимо провести экспериментальные исследования электромагнитных помех, обусловленных работой судового электрооборудования, реализованных на нелинейных элементах, а также расчетные исследования на математической модели распространения высших гармонических по элементам судовой электроэнергетической системы.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### **Результаты экспериментальных исследований электромагнитных помех, обусловленных работой судового электрооборудования, реализованных на основе нелинейных элементов**

Электромагнитные помехи (ЭМП), обусловленные нелинейными электроприемниками, согласно нормативным документам РФ характеризуются следующими основными показателями: суммарным коэффициентом несинусоидальности ( $K_{ncU}$ , % – THD), n-гармонической составляющей напряжения ( $K_{U(n)}$ ) кривой напряжения, колебаниями напряжения ( $\delta U$ ) и его производной – фликером [1–3]:

$$K_{\text{НСU}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N (U^2_{(n)})}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $U_{(n)}$  – действующее значение амплитуды  $n$ -ой гармоники напряжения;  $n$  – порядок гармонической составляющей напряжения;  $N$  – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения.

Следует отметить, что важнейшим фактором, определяющим влияние ЭМП на работу судовой электроэнергетической сети, являются гармоники тока, эмиттируемые нелинейными электроприемниками в питающую сеть (рис. 1). Поэтому стандарты ряда стран регламентируют гармоники тока [1, 4].

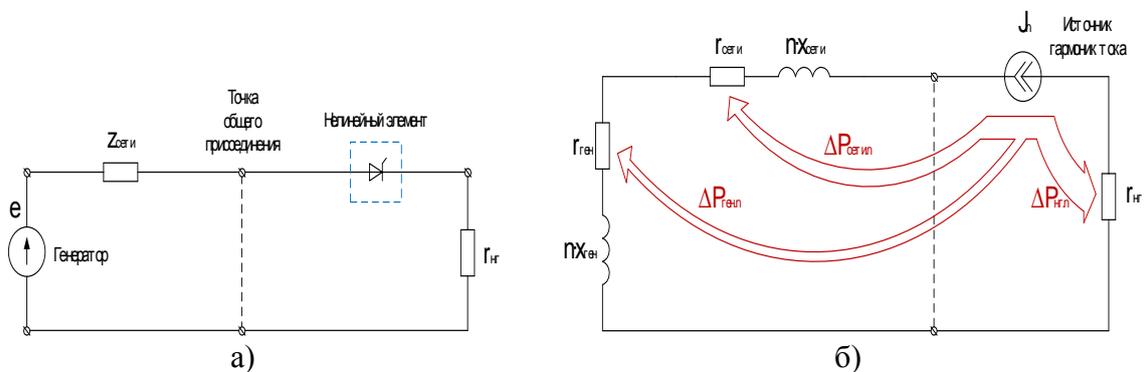


Рис. 1. Диаграмма гармонического потока мощности в системе переменного тока:  
 а) электрическая схема однофазной сети; б) поток мощности гармонической частоты

Fig. 1. Diagram of harmonic power flow in an alternating current system: a) electrical circuit of a single-phase network; b) harmonic frequency power flow

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N (I^2_{(n)})}}{I_1} \cdot 100\%; \quad (3)$$

$$K_{I(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_{(1)}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $I_{(n)}$  – действующее значение амплитуды  $n$ -й гармоники тока;  $n$  – порядок гармонической составляющей тока;  $N$  – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих.

Экспериментальные исследования показателей качества электроэнергии (ПКЭ) – высших гармонических, обусловленных эксплуатацией нелинейных судовых электроприемников – были выполнены на учебном парусном судне (УПС) "Крузенштерн" (рис. 2). При проведении исследований использовались анализатор ПКЭ и цифровой осциллограф (рис. 3).

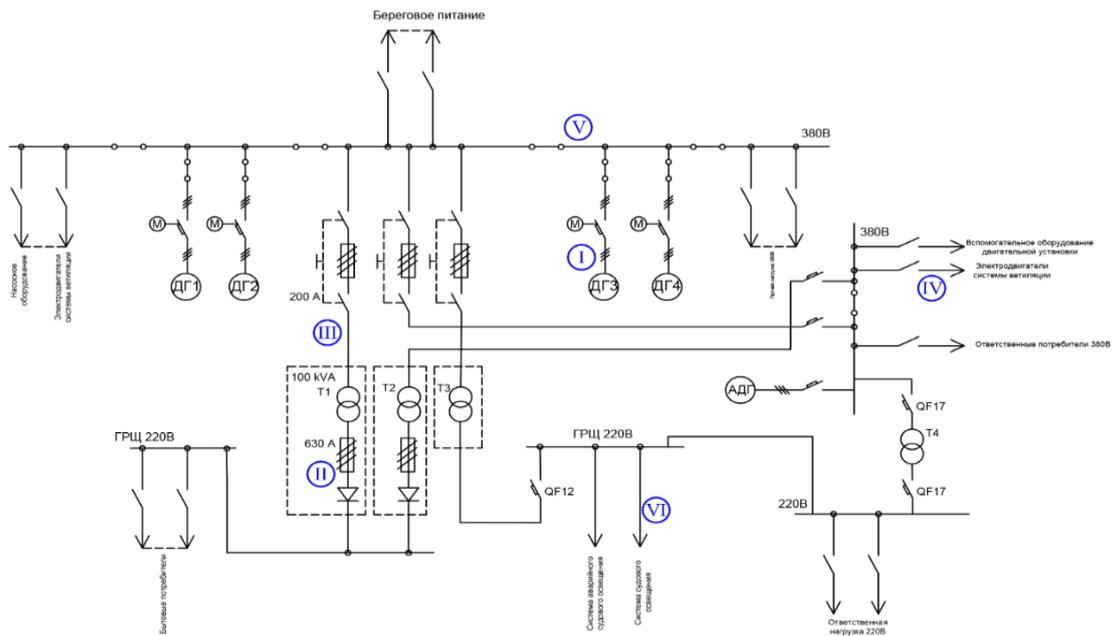


Рис. 2. Электрическая схема электроэнергетической системы УПС "Круzenshtern" (точки измерений ПКЭ от 1 до 6)

Fig. 2. Electrical diagram of the STV "Kruzenshtern" electric power system (points of measurement of PQI from 1 to 6)

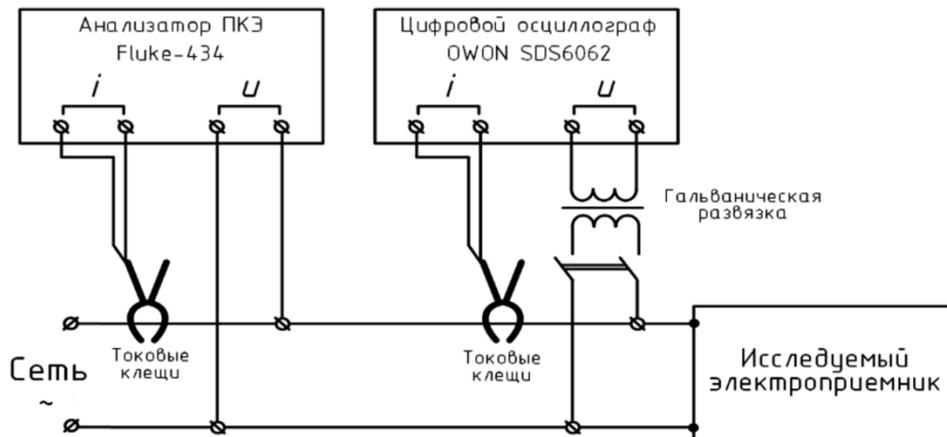


Рис. 3. Схема подключения контрольно-измерительного оборудования для исследования показателей качества электроэнергии

Fig. 3. Connection diagram of control and measuring equipment for the study of power quality indicators

Результаты исследований ПКЭ на входе шестифазного выпрямителя (обмотка низкого напряжения трансформатора Т1), питающего нагрузку постоянного тока, и на входе обмотки высокого напряжения трансформатора Т1 приведены на рис. 4 и в табл. 1.



Рис. 4. Осциллограммы напряжения и тока в цепи низкой стороны трансформатора  
 Fig. 4. Voltage and current waveforms in the low side circuit of the transformer

Таблица 1. Значения показателей качества электроэнергии в цепи трансформатора Т1 во вторичной и первичной его обмотках

Table 1. Values of power quality indicators in the circuit of the transformer T1 in its secondary and primary windings

Параметры, место измерений	$\delta U, \%$	Гармоники напряжения		Гармоники тока		Фликер
		THD, %	$H_{N\% 7}$	THD, %	$H_{N\% 5}$	
Трансформатор Т1, точка II (рис. 1)	0,86	3,5	2,6	17,5	11,6	0,58
Трансформатор Т1, точка III (рис. 1)	0,32	3,1	2,3	19,2	12,5	0,58

Состав гармоник тока, эмитируемых в питающую сеть полупроводниковым преобразователем в зависимости от его фазности:

$$N = 6 \cdot p \pm 1; \quad I_n \approx I_1 / N, \quad (5)$$

где  $p - 1, 2 \dots n$ ;  $I_1$  и  $I_n$  – соответственно первая и  $N$  гармоники тока.

Таблица 2. Состав гармоник тока, эмитируемых в питающую сеть полупроводниковым преобразователем в зависимости от его фазности

Table 2. Composition of current harmonics emitted into the supply network by a semiconductor converter, depending on its phase

Фазность	Состав гармоник тока									
	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31
Шестифазный	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31
Двенадцатифазный	–	–	11	13	–	–	23	25	–	–
Двадцатичетырехфазный	–	–	–	–	–	–	23	25	–	–

В качестве примера состав гармоник тока ( $N$ ), эмитируемых в питающую сеть выпрямителем асинхронного электропривода с частотным регулированием (рис. 5), определяется выражением (5). Поскольку выпрямитель в рассматриваемом

мой схеме (рис. 5) шестифазный, то в питающую сеть генерируются 5, 7, 11, 13-я гармоники тока и так далее (табл. 2).

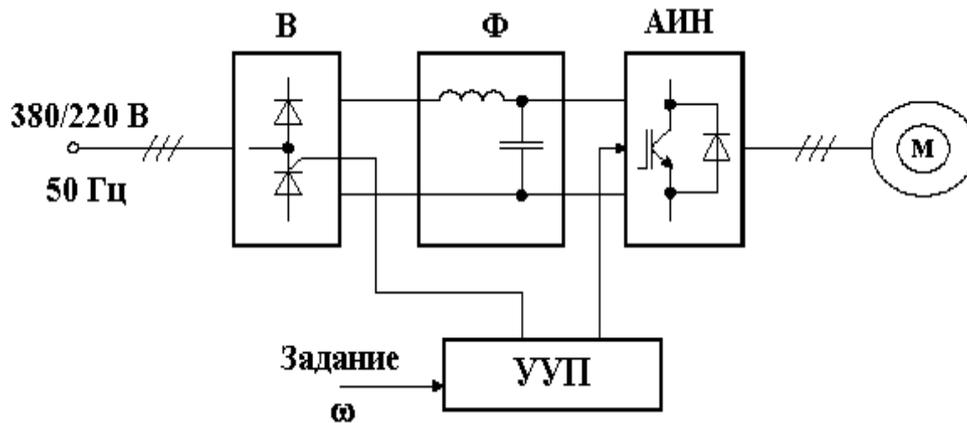


Рис. 5. Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода  
 Fig. 5. Functional diagram of the frequency-controlled electric drive

На основе экспериментальных исследований однофазного трансформатора гармонические составляющие тока холостого хода представлены на рис. 6.

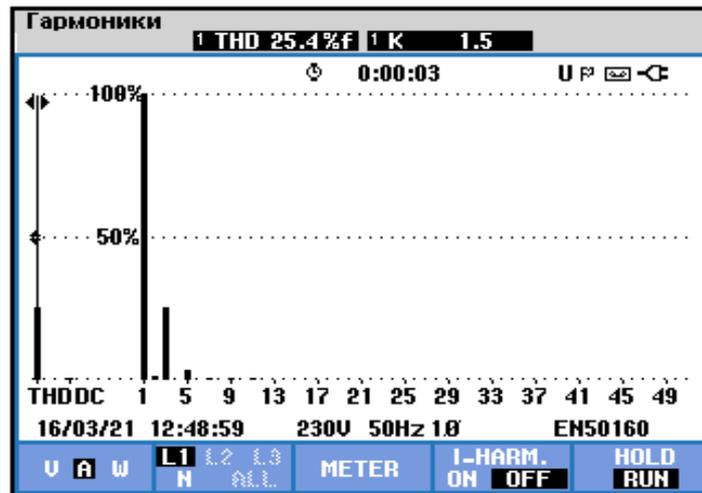


Рис. 6. Уровень гармоник тока однофазного трансформатора в режиме холостого хода:  $k_1 = 25,4\%$ ; (THD = 25,4%,  $k_3 = 25,3\%$ ;  $k_5 = 3,4\%$ ;  $k_7 = 0,7\%$ ;  $k_9 = 0,61\%$ ;  $k_{11} = 0,55\%$ )

Fig. 6. Level of current harmonics of the single-phase transformer in no load operation  $k_1 = 25,4\%$ ; (THD = 25,4%,  $k_3 = 25,3\%$ ;  $k_5 = 3,4\%$ ;  $k_7 = 0,7\%$ ;  $k_9 = 0,61\%$ ;  $k_{11} = 0,55\%$ )

Как следует из полученных данных, наибольшей является третья гармоника тока. Однако схема соединения обмоток трансформатора Т1 –  $\Delta/\Delta$ , поэтому третья гармоника и кратные ей в питающую сеть не проникают.

В настоящее время на судах внедряются светодиодные светильники, отличающиеся эффективностью и высоким сроком службы [4].

Таблица 3. Характеристики распространенных источников света  
Table 3. Characteristics of common light sources

Тип лампы	Теоретический предел светоотдачи, лм/Вт	Достигнутая светоотдача, лм/Вт	Срок службы, тыс. ч	Вредные вещества
Накаливания	53,5	15	1	Нет
Галогеновая		20	10	
Линейная люминесцентная	Для источника белого света 254	108	25	До 10 мг ртути
Компактная люминесцентная		70	12	
Светодиодная	Более 300	102 (лампа) 205 (СД)	90	Нет

На рис. 7 представлены осциллограммы линейного тока и фазного напряжения светодиодной лампы "Xavaх 9 Вт". В табл. 4 приведены результаты обработки экспериментальных данных.

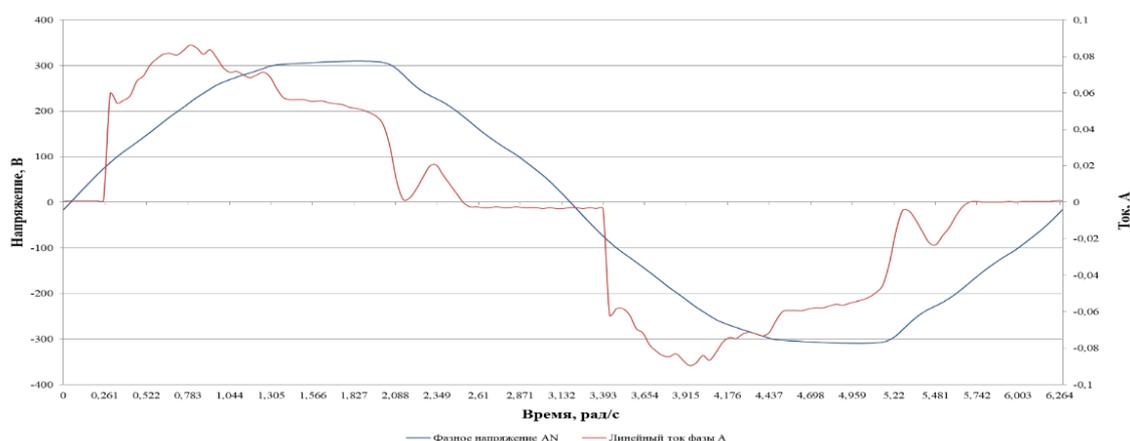


Рис. 7. Осциллограммы линейного тока и фазного напряжения СДЛ "Xavaх 9 Вт"  
Fig. 7. Line current and phase voltage waveforms of Xavaх 9W LED lamp

Таблица 4. Результаты экспериментальных исследований показателей несинусоидальности потребляемого тока светодиодными лампами

Table 4. Results of experimental studies of non-sinusoidality indicators of the current consumed by LED lamps

Тип лампы	U, В	I, мА	Суммарный коэффициент гармонических составляющих по току (THD), %	Содержание гармонической составляющей тока, в % от основной гармоники				
				H3	H5	H7	H9	H11
"Xavaх 9 Вт"	223,2	51	33,5	23	18	7	7	2
"Philips 11 Вт"	222,9	82	128	82	58	43	40	37

Анализ результатов экспериментальных исследований судового электрооборудования, реализованного на нелинейных элементах, показал, что при их ра-

боте имеет место эмиссия нечетных гармоник тока от трех и выше. Как известно, третьи и кратные им гармоники образуют нулевую последовательность [1]; 5, 11-я и далее – обратную; 7, 13-я и далее – прямую последовательность. Таким образом, исследование распространения высших гармонических и связанных с ними эффектов следует проводить на математической модели, разработанной на основе схемы замещения судовой электроэнергетической системы для высших гармоник нечетного порядка, некратных трем [5, 6].

## 2. Результаты расчетных исследований распространения высших гармонических по элементам судовой электроэнергетической системы

Судовая электроэнергетическая система УПС "Крузенштерн" имеет изолированную нейтраль, нагрузка носит преимущественно симметричный характер, поэтому можно рассмотреть однолинейную схему замещения. Такая схема для высших гармоник нечетного порядка, некратных трем, разработанная на основе электрической схемы электроэнергетической системы УПС "Крузенштерн", приведена на рис. 8 [6, 7].

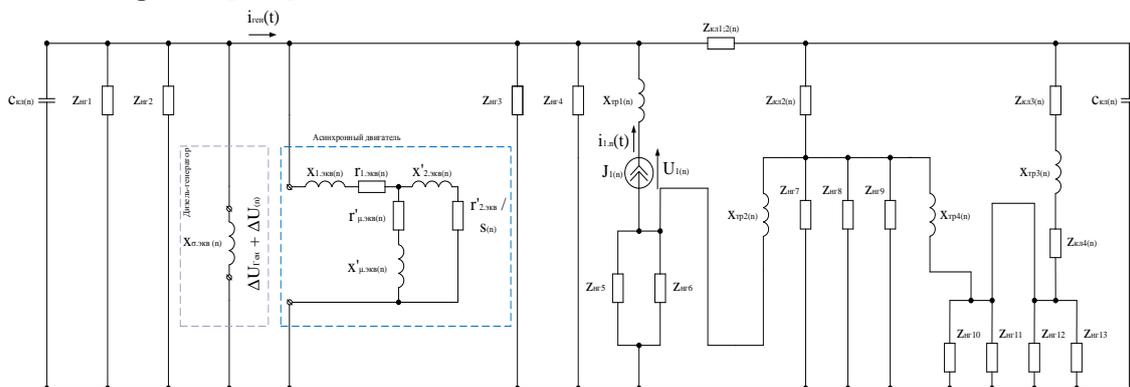


Рис. 8. Схема замещения судовой электроэнергетической системы УПС "Крузенштерн" для высших гармоник нечетного порядка, некратных трем  
 Fig. 8. Equivalent circuit of the ship electric power system of STV Kruzenshtern for higher harmonics of odd order and non-multiples of three

Технические данные генерирующего оборудования, используемого на судне, представлены в табл. 5.

Таблица 5. Состав генерирующего оборудования УПС "Крузенштерн"  
 Table 5. Composition of the generating equipment of STV "Kruzenshtern"

Тип	Количество (м), шт.	S, кВА	P, кВт	U <sub>НОМ</sub> , В	I <sub>НОМ</sub> , А	n <sub>НОМ</sub> , об/мин
Дизель-генераторы						
LSAM46.2L C6/4	2 (№ 1 и № 3)	215	172	400	316	1500
LSAM46.2L6	2 (№ 2 и № 4)	187	150	390	271	1500

Технические данные кабельных линий, используемых на судне, приведены в табл. 6.

Таблица 6. Состав кабельного оборудования УПС "Крузенштерн"  
Table 6. Composition of the cable machinery of STV "Kruzenshtern"

№ п/п	Кабель от – к	Поперечное сечение (q), мм <sup>2</sup>	Длина кабеля (l), м	Количество параллельных кабелей (m), шт.	$r_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{m}$	$x_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{m}$
1	Генератор – ГРЩ	70	10	2	1,4	0,375
2	ГРЩ – распредел. сеть 380 В	70	40	1	11,2	3
3	ГРЩ – трансформатор № 3	35	40	2	11,2	1,96
4	Трансформатор № 3 – распредел. сеть 220 В	70	6	2	0,84	0,225

Технические данные трансформаторов, используемых на судне, представлены в табл. 7.

Таблица 7. Состав трансформаторного оборудования УПС "Крузенштерн"  
Table 7. Composition of the transformer equipment of STV "Kruzenshtern"

№	Тип	S, кВА	$U_{ВН.ном}/U_{НН.ном}$ , В	$I_{ВН.ном}/I_{НН.ном}$ , А	$r_{тр}$ , Ом	$x_{тр}$ , Ом	$Z_{кз}$ , Ом
1, 2, 3, 4	ДТ-100	100	380/220	150/247	0,0085	0,0221	0,0365

Напряжение n-й гармоники на шинах дизель-генератора (а при пренебрежении сопротивлением тракта дизель-генератор – шины ГРЩ на шинах ГРЩ) будет определяться по выражению [7]:

$$U_{(n)} = -I_{(n)} \cdot Z_{экв(n)}, \quad (6)$$

где  $I_{(n)}$  – ток n-й гармоники, А;

$Z_{экв(n)}$  – эквивалентное полное сопротивление сети для n-гармоники,

Ом.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора явнополюсного генератора без учета вытеснения тока в пазу для n-й гармоники тока [6]:

$$x_{дг(n)} = n \cdot k_{2(n)} \cdot x_2, \quad (7)$$

где n – номер гармоники;

$k_{2(n)}$  – среднее значение коэффициента для 5 и 7-й гармоник, равен 0,75;

$x_2$  – сопротивление обратной последовательности генератора, Ом.

Полное сопротивление асинхронного двигателя для n-й гармоники при резком появлении поверхностного эффекта ( $r_{k(n)} = r_k \sqrt{n}$ ) [6]:

$$Z_{ад(n)} = \sqrt{r_{k.ад(n)}^2 + x_{k.ад(n)}^2} = \sqrt{n^2 \cdot x_{k.ад}^2 + n \cdot r_{k.ад}^2} \approx n \cdot x_{k.ад}, \quad (8)$$

где  $r_{k.ад(n)}$ ,  $x_{k.ад(n)}$  – активное, реактивное сопротивления короткого замыкания асинхронного двигателя на частоте n-й гармоники, Ом;

$r_{k.ад}$ ,  $x_{k.ад}$  – активное, реактивное сопротивления короткого замыкания асинхронного двигателя при промышленной частоте, Ом.

Полное сопротивление  $m$ -трансформатора для  $n$ -й гармоники [6, 7]:

$$Z_{\text{тр}m(n)} \approx n \cdot x_{k.\text{тр}}, \quad (9)$$

где  $m$  – номер трансформатора (1, 2, 3, 4);

$x_{k.\text{тр}}$  – сопротивление короткого замыкания трансформатора при промышленной частоте, Ом.

Полное сопротивление фазных проводов кабельной линии для  $n$ -й гармоники [6]:

$$Z_{\text{кл}m(n)} = \sqrt{n^2 \cdot x_{\text{ф.с}}^2 + n \cdot r_{\text{ф.с}}^2}, \quad (10)$$

где  $m$  – номер кабельной трассы (1, 2, 3, 4);

$x_{\text{ф.с}}$  – реактивное сопротивление фазы сети на частоте 50 Гц, Ом;

$r_{\text{ф.с}}$  – активное сопротивление фазы сети на частоте 50 Гц, Ом.

Полное сопротивление нагрузки [7]:

$$Z_{\text{нг}m} = \sqrt{x_{\text{нг}}^2 + r_{\text{нг}}^2}, \quad (11)$$

где  $m$  – номер нагрузки (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13);

$x_{\text{нг}}$  – реактивное сопротивление нагрузки на частоте 50 Гц, Ом;

$r_{\text{нг}}$  – активное сопротивление нагрузки при промышленной частоте, Ом.

Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей тока [7]:

$$K_{I(n)} = \frac{I(n)}{I_{\text{ном}}}, \quad (12)$$

где  $I_n$ ,  $I_{\text{ном}}$  – действующее значение тока  $n$ -й гармоники и номинального фазного, А.

В табл. 8 сведены расчетные и экспериментальные данные, характеризующие уровни гармоник тока и напряжения 5, 7, 11 и 13-го порядков, суммарные коэффициенты гармонических составляющих по току и напряжению в рассматриваемой электроэнергетической сети УПС "Крузенштерн".

Таблица 8. Расчетные и экспериментальные данные, характеризующие уровни гармоник тока и напряжения 5, 7, 11 и 13-го порядков в рассматриваемой сети УПС "Крузенштерн"

Table 8. Calculation and experimental data characterizing the levels of current and voltage harmonics of the 5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> orders in the considered network of STV "Kruzenshtern"

Параметр	Номер гармоники	Расчетные значения
Полное сопротивление $n$ -й гармонической составляющей $z_{\text{экв}(n)}$ , Ом	H5	0,56
	H7	0,6
	H11	0,44
	H13	0,35
Ток $n$ -й гармонической составляющей $I(n)$ , А	H5	8,63
	H7	9,88
	H11	2,193
	H13	2,824
Напряжение $n$ -й гармонической составляющей $U(n)$ , В	H5	4,83
	H7	5,934
	H11	0,981
	H13	1,007

Окончание таблицы 8

Параметр	Номер гармоник	Расчетные значения	Данные, снятые с анализатора ПКЭ "Fluke-434"
Коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ , %	H5	2,198	2,2
	H7	2,699	2,6
	H11	0,446	0,4
	H13	0,458	0,5
Коэффициент n-й гармонической составляющей тока $K_{I(n)}$ , %	H5	9,746	9,6
	H7	11,158	10,6
	H11	2,476	2,7
	H13	3,189	3,0
Суммарный коэффициент гармонических составляющих по напряжению $K_{\Sigma U(n)}$ , %	–	3,596	3,5
Суммарный коэффициент гармонических составляющих по току $K_{\Sigma I(n)}$ , %	–	16,162	15,9

Токи 5, 7, 11 и 13-й высших гармоник, как наибольшие по величине и характеру воздействия, создают моменты прямой и обратной последовательностей, их влияние на средний момент незначительно (менее 2 %). Однако это приводит к возникновению вибраций вала асинхронных двигателей на частоте 6-й и 12-й.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментальные исследования высших гармонических, обусловленных эксплуатацией электрооборудования с нелинейными характеристиками судовых энергоустановок и их элементов, проведенные на УПС "Крузенштерн", показали, что при их работе имеет место эмиссия в судовую сеть нечетных гармоник тока от 3-й и выше.

2. На основе схемы замещения судовой электроэнергетической системы "Крузенштерн" для высших гармоник нечетного порядка, некратных трем, составлена математическая модель распространения высших гармонических по элементам судовой электроэнергетической системы.

3. На математической модели оценен вклад в суммарный коэффициент гармонических составляющих по напряжению от полупроводниковых преобразователей, питающих нагрузку постоянного тока (3,6 %) (рис. 2, позиция П).

4. Установлена взаимосвязь от влияния высших гармонических на работу асинхронных электродвигателей. Наличие 5 и 7-й гармоник напряжения приводит к возникновению вибраций вала двигателя на частоте 300 Гц, 11 и 13-ой гармоник – на частоте 600 Гц. Влияние моментов данных гармоник на средний момент незначительно, однако при совпадении с частотой собственных колебаний вращающихся частей электропривода уровень 5, 7, 11 и 13-й гармоник напряжения может повыситься.

### Список источников

1. Управление качеством электроэнергии: учеб. пособие для вузов / И. И. Карташев, Р. Г. Шаманов, А. Ю. Воробьев, Ю. В. Шаров, В. Н. Тульский; под ред. Ю. В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 360 с.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI "Электрическое оборудование". НД № 2-020101–138. Санкт-Петербург, 2021. URL: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/1unh4.html> (дата обращения: 05.06.2022).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартиформ, 2014. 19 с.
4. Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
5. Белей В. Ф., Брижак Р. О. Теоретический анализ электромагнитных помех, обусловленных работой электрооборудования судовых энергетических установок и их элементов // Известия КГТУ, 2021. № 63. С. 103–115.
6. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 160 с.
7. Шидловский А. К., Жаркин А. Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях; под ред. И. Л. Макаренко И. Л. Киев: Наукова думка, 2005. 211 с.

### References

1. Kartashev I. I., Shamanov R. G., Vorobyov A. Yu., Sharov Yu. V., Tulsy V. N. *Upravleniye kachestvom elektroenergii: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Power quality management: textbook for universities]. Moscow, MEI Publ., 2006, 360 p.
2. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Chast' XI "Elektricheskoye oborudovaniye"* [Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the classification and construction of sea vessels. Part XI "Electrical equipment"], no 2-020101–138. Saint-Petersburg, 2021. Available at: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/1unh4.html> (Accessed 5 July 2022).
3. State Standard 32144-2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 19 p. (In Russian).
4. Arryllaga J., Bradley D., Bodger P. *Garmoniki v elektricheskikh sistemakh* [Power system harmonics]. Moscow, Energoatomizdat, 1990, 320 p.
5. Beley V. F., Brizhak R. O. *Teoreticheskiy analiz elektromagnitnykh pomekh, obuslovlennykh rabotoy elektrooborudovaniya sudovykh energeticheskikh ustanovok i ikh elementov* [Theoretical analysis of electromagnetic interference caused by the operation of electrical equipment of ship power plants and their elements]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 63, pp. 103–115.

6. Zhezhelenko I. V. *Vysshiyе garmoniki v sistemakh elektrosnabzheniya prompredpriyatiy* [Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat, vol. 2, 1984, 160 p.

7. Shidlovskiy A. K., Zharkin A. F. *Vysshiyе garmoniki v nizkovol'tnykh elektricheskikh setyakh* [Higher harmonics in low-voltage electrical networks]. Kiev, Naukova dumka Publ., 2005, 211 p.

### **Информация об авторах**

**В. Ф. Белей** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой энергетики

**Р. О. Брижак** – аспирант кафедры энергетики

**К. В. Коротких** – магистр кафедры энергетики

### **Information about the authors**

**V. F. Beley** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Power Engineering Department

**R. O. Brizhak** – PhD student of the Power Engineering Department

**K. V. Korotkikh** – Master degree student of the Power Engineering Department

Статья поступила в редакцию 14.07.2022; одобрена после рецензирования 18.07.2022; принята к публикации 19.07.2022

The article was submitted 14.07.2022; approved after reviewing 18.07.2022; accept for publication 19.07.2022

Научная статья

УДК 621.9(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-143-152

### **Исследование пятна контакта зубьев в зависимости от геометрии передачи**

**Ольга Сергеевна Витренко<sup>1</sup>, Илья Борисович Воронцов<sup>2</sup>, Владимир Георгиевич Сукиасов<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>2</sup>Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск, Луганская Народная Республика

<sup>1</sup>olga.vitrenko@klgtu.ru

**Аннотация.** Зубчатые колеса являются одними из самых распространенных деталей, входящих в различные машины и механизмы. Следовательно, повышение производительности и качества их изготовления – это одна из важнейших задач, стоящих перед технологами и инструментальщиками всего мира. Множество зубчатых колес для винтовых зубчатых передач имеют различную конструктивную форму, изготовление которой требует разнообразия технологий и зуборезных инструментов, основанных на схемах формообразования третьего класса. Такие передачи широко распространены в общем машиностроении и применяются в механизмах с малыми мощностями и значительными передаточными отношениями. Бесшумность и плавность работы передач являются одними из их основных преимуществ. Если передаточное отношение в них меньше восьми, то характер касания зубьев – точечный. Начальное касание зубьев происходит в точке, при этом в зоне контакта возникают значительные скорости скольжения, приводящие к интенсивному износу зубьев. В данной статье разработана винтовая зубчатая передача, имеющая линейный характер касания зубьев при любом передаточном отношении. От размеров пятна контакта в значительной степени зависит нагрузочная способность зубчатых передач и прежде всего их износ. Найдено пятно контакта в винтовых зубчатых передачах, а также в цилиндрико-гиперболоидных, имеющих разные геометро-кинематические параметры. В экспериментальном виде определена оценка влияния различных факторов на величину пятна контакта. Установлена зависимость между площадью пятна контакта и геометрическими параметрами зубчатых колес, входящих в зубчатую передачу.

Данное исследование может быть использовано при конструировании различных типов ортогональных винтовых зубчатых передач с целью в значительной степени повысить их нагрузочную способность и долговечность.

**Ключевые слова:** зубчатые колеса, профиль, геометро-кинематические параметры, схема формообразования, инструмент

**Для цитирования:** Витренко О. С., Воронцов И. Б., Сукиасов В. Г. Исследование пятна контакта зубьев в зависимости от геометрии передачи // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 143–152.

Original article

### Study of tooth contact pattern depending on transmission geometry

Ol'ga S. Vitrenko<sup>1</sup>, Il'ya B. Vorontsov<sup>2</sup>, Vladimir G. Sukiasov<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup>Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Lugansk People's Republic

**Abstract.** Tooth wheels are among the most widely spread machine parts which are used in different machines and mechanisms, Consequently, increase of productivity and quality of their manufacturing is one of the major tasks facing technologists and producers of instruments all over the world. A variety of tooth wheels for helical gears have a different design form, manufacture of which requires a variety of different technologies, as well as a variety of gear-cutting tools based on third-class shaping schemes. Such transmissions are widespread in general mechanical engineering and are used in mechanisms with low capacities and significant gear ratios. The quietness and smooth operation of such transmissions is one of their main advantages. If the gear ratio is less than eight, then the tooth contact is point-like. The initial tooth contact occurs at a point, while significant sliding speeds occur in the contact zone, leading to intense wear of the teeth. Therefore, in this work, a helical gear train has been developed, which has a linear character of tooth contact at any gear ratio. The load capacity of gears and, above all, their wear largely depends on the size of the contact pattern. A contact pattern has been found in helical gears, as well as cylindrical-hyperboloid gears with various geometric and kinematic parameters. Evaluation of the influence of various factors on the size of the contact pattern has been determined experimentally. The dependence between the contact pattern area and the geometric parameters of the gears included in the gear transmission has been found.

The present study can be used when designing orthogonal helical gear transmissions of different types aimed at significant increase of their loading capacity and lasting use.

**Keywords:** tooth wheels, profile, geometric-kinematic parameters, shape-formation scheme, tools

**For citation:** Vitrenko O. S., Vorontsov I. B., Sukiasov V. G. Study of tooth contact pattern depending on transmission geometry. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):143–152.(in Russ.).

### ВВЕДЕНИЕ

От размеров пятна контакта на зубе зубчатого колеса в значительной степени зависит нагрузочная способность зубчатых передач и прежде всего их износ [1]. При контактировании зубьев ортогональной винтовой зубчатой передачи, зубчатые колеса которой являются обычными косозубыми зубчатыми колесами с  $m_n = 1,5$  мм и числом зубьев  $z_1 = z_2 = 48$ , получается точечный характер касания зубьев, что отчетливо видно на рис. 1, а.



Рис. 1. Пятно контакта на зубьях винтовых зубчатых колес  
Fig. 1. Contact pattern on the teeth of helical gears

Если обкатать такую зубчатую пару, то в центре контактирующего зуба будет явно выражен точечный характер касания зубьев. На рис. 1, б изображено пятно контакта на зубе колеса, работавшем в паре с разработанным гиперboloидным зубчатым колесом.

В представленной работе найдем зависимость между площадью пятна контакта и геометрическими параметрами спроектированной зубчатой передачи. Величину площади пятна контакта определим путем нанесения сетки на поверхность пятна контакта, а затем – измерением ее при помощи стандартного микроскопа.

При конструировании винтовых зубчатых колес на величину пятна контакта будут влиять количество заходов (витков) винтовых зубчатых колес, их диаметр, а также передаточное отношение в проектируемой передаче [2, 3].

Проведем полный факторный эксперимент типа  $2^3$ . Для оценки влияния перечисленных выше факторов на величину пятна контакта использована модель первого порядка типа:

$$S_n = \{O_n x_n y_n z_n\}$$
$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 . \quad (1)$$

Значения выбранных уровней варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов  
 Table 1. Levels and intervals of factors variation

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	Верхний +1	Основной 0	Нижний -1	
$x_1$ – количество зубьев гиперболоидного зубчатого колеса	14	10	6	4
$x_2$ – делительный диаметр гиперболоидного зубчатого колеса в горловом сечении	73,8	60,1	46,4	13,7
$x_3$ – передаточное отношение гиперболоидной зубчатой передачи	5	3	1	2

Матрица плана эксперимента и экспериментальное измерение площади пятна контакта представлены в табл. 2.

Таблица 2. План эксперимента типа  $2^3$   
 Table 2. Experiment plan type

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$S$ (%)
1	+	+	+	+	+	+	+	+	75
2	+	-	+	+	-	-	+	-	65
3	+	+	-	+	-	+	-	-	67
4	+	-	-	+	+	-	-	+	45
5	+	+	+	-	+	-	-	-	71
6	+	-	+	-	-	+	-	+	64
7	+	+	-	-	-	-	+	+	66
8	+	-	-	-	+	+	+	-	43

Определим коэффициенты в уравнении регрессии (1):

$$b_0 = \sum_{i=1}^n y_i / n ;$$

$$b_i = \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i / n ;$$

$$b_{ij} = \sum_{i=1}^n x_{ij} x_{ij} y_i / n .$$

Следовательно:

$$b_0 = \frac{75 + 65 + 67 + 45 + 71 + 64 + 66 + 43}{8} = 62 ;$$

$$b_1 = \frac{75 - 65 + 67 - 45 + 71 - 64 + 66 - 43}{8} = 7,75 ;$$

$$b_2 = \frac{75 + 65 - 67 - 45 + 71 + 64 - 66 - 43}{8} = 6,75 ;$$

$$b_3 = \frac{75 + 65 + 67 + 45 - 71 - 64 - 66 - 43}{8} = 1 ;$$
$$b_{12} = \frac{75 - 65 - 67 + 45 + 71 - 64 - 66 + 43}{8} = -3,5 ;$$
$$b_{13} = \frac{75 - 65 + 67 - 45 - 71 + 64 - 66 + 43}{8} = 0,25 ;$$
$$b_{23} = \frac{75 + 65 - 67 - 45 - 71 - 64 + 66 + 43}{8} = 0,25 ;$$
$$b_{123} = \frac{75 - 65 - 67 + 45 - 71 + 64 + 66 - 43}{8} = 0,5 .$$

После расчета всех коэффициентов уравнение регрессии (1) принимает следующий вид:

$$y = 62 + 7,75 x_1 + 6,75 x_2 + x_3 - 3,5 x_1 x_2 + 0,25 x_1 x_3 + 0,25 x_2 x_3 + 0,5 x_1 x_2 x_3 . \quad (2)$$

Числовые значения коэффициентов регрессии  $b_i$ ;  $b_{ij}$  позволяют оценить степень воздействия факторов и их взаимодействий на параметр оптимизации.

Далее определим значимость коэффициентов регрессии. Для нахождения доверительного интервала найдем дисперсии коэффициентов регрессии по следующей зависимости:

$$s^2 \{b_i\} = \frac{1}{nN} S_y^2 . \quad (3)$$

Доверительный интервал для каждого из коэффициентов уравнения регрессии определяется выражением:

$$\Delta b_i = \pm t_r S \{b_i\} , \quad (4)$$

где  $t_r$  – табличное значение критерия при принятом уровне значимости и числе степеней свободы  $f$ :

$$f = (n - 1)N , \quad (5)$$

где  $n$  – число параллельных опытов;

$N$  – число опытов в матрице планирования.

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала.

Так, в нашем исследовании коэффициент в уравнении регрессии  $b_{123}$  оказался незначимым. Следовательно, окончательно выражение, описывающее наш процесс, приняло вид:

$$y = 62 + 7,75 x_1 + 6,75 x_2 + x_3 - 3,5 x_1 x_2 + 0,25 x_1 x_3 + 0,25 x_2 x_3 . \quad (6)$$

Уравнение (6) при 5 %-м уровне значимости описывает с требуемой точностью влияние числа зубьев гиперболоидного колеса, его диаметра и передаточного отношения передачи на величину суммарного пятна контакта в зацеплении.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальные исследования по определению пятна контакта в ортогональной цилиндрико-гиперболоидной зубчатой передаче проводились в три этапа.

На первом этапе производилась обкатка зубчатых пар при зацеплении шестизаходных гиперболоидных зубчатых колес с косозубыми цилиндрическими зубчатыми колесами.

Рассмотрим зацепление гиперболоидных шестизаходных зубчатых колес с диаметром делительных окружностей  $d_d = 57,54$  мм;  $64,66$  мм;  $73,83$  мм, углы наклона зубьев которых соответственно равны:  $\beta = 81^\circ$ ;  $82^\circ$ ;  $83^\circ$ , со стандартными косозубыми зубчатыми колесами. Проведем обкатку этих зубчатых колес с косозубыми зубчатыми колесами, у которых делительные диаметры равны  $d_d = 102$  мм, а число зубьев  $z_1 = 65$ ;  $66$ ;  $67$ .

Передаточное отношение в представленных зубчатых передачах составляло  $u = 10,8 \dots 11,2$ . После обкатки зубьев рассматриваемых винтовых зубчатых передач было определено пятно контакта в зацеплении. Теоретическое и экспериментальное пятно контакта в рассматриваемых зубчатых передачах представлено на рис. 2.

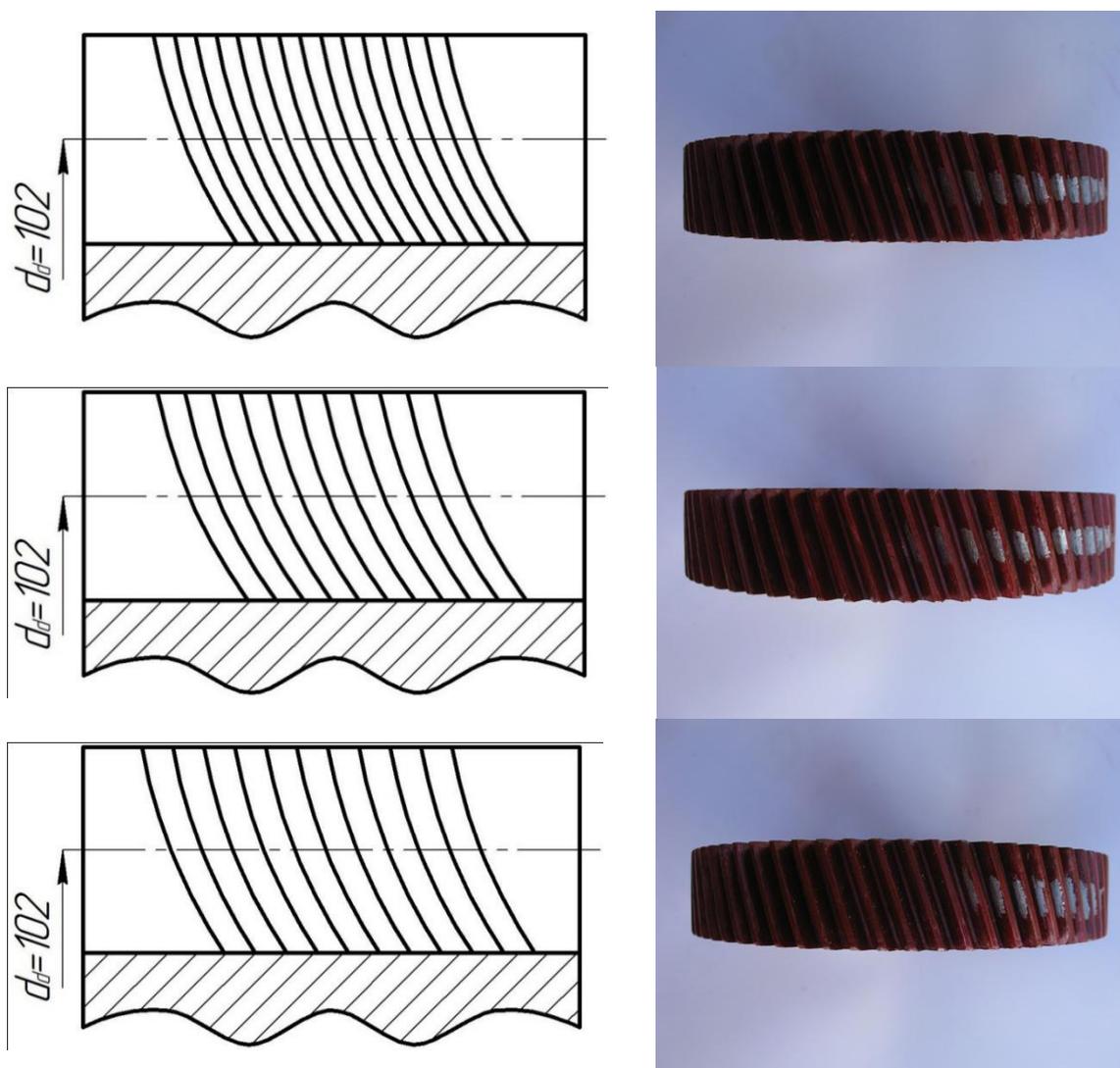


Рис. 2. Пятно контакта на зубе косозубого колеса, сопряженного с шестизаходным винтовым зубчатым колесом

Fig. 2. A contact pattern on the tooth of a bevel wheel mated to a six-way helical gear

На втором этапе экспериментальных исследований проводилась обкатка четырех различных по геометрии десятизаходных зубчатых пар, состоящих из разработанных винтовых зубчатых колес и косозубых цилиндрических зубчатых колес.

Рассмотрим зацепление гиперболоидных десятизаходных зубчатых колес с диаметрами делительных окружностей  $d_d = 35,7$  мм; 54,42 мм; 62,00 мм; 75,15 мм, углы наклона зубьев этих зубчатых колес соответственно равны:  $\beta = 65^\circ$ ;  $74^\circ$ ;  $76^\circ$ ;  $78^\circ$ . Проведем обкатку зубьев описанных выше зубчатых колес с косозубыми зубчатыми колесами, диаметры делительных окружностей которых равны  $d_d = 102$  мм, а число зубьев –  $z_1 = 62$ ; 65; 66; 67.

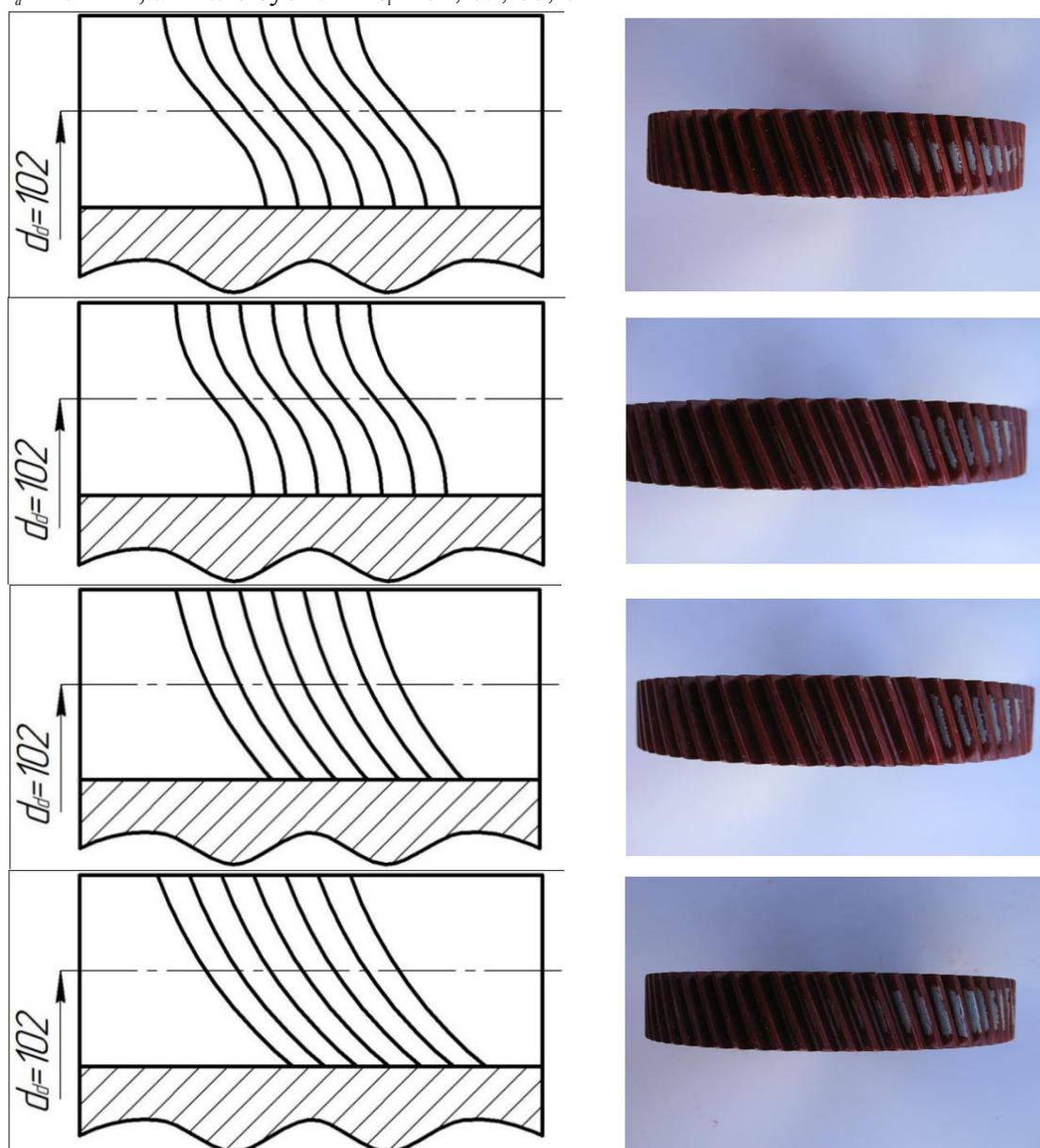


Рис. 3. Пятно контакта на зубе зубчатого колеса, сопряженного с разработанным десятизаходным винтовым зубчатым колесом  
Fig. 3. A contact pattern on the tooth of the gear wheel mated to the developed ten-way screw gear

Передаточное отношение в рассмотренных гиперboloидных зубчатых передачах составляло  $u = 6,2 \dots 6,7$ . После обкатки зубьев гиперboloидных зубчатых передач было найдено пятно контакта в зацеплении. Теоретическое и экспериментальное пятно контакта в передачах представлено на рис. 3.

На третьем этапе проводилась обкатка зубчатых пар при зацеплении трех четырнадцатизаходных гиперboloидных зубчатых колес с косозубыми цилиндрическими зубчатыми колесами.

Рассмотрим зацепление гиперboloидных четырнадцатизаходных зубчатых колес с диаметрами делительных окружностей  $d_d = 46,3$  мм; 61,4 мм; 76,2 мм, углы наклона зубьев соответственно равны:  $\beta = 63^\circ$ ;  $70^\circ$ ;  $74^\circ$ . Проведем обкатку зубьев описанных выше зубчатых колес с косозубыми зубчатыми колесами, делительные диаметры окружностей которых равны  $d_d = 102$  мм, а число зубьев, соответственно,  $z_1 = 61$ ; 64; 66.

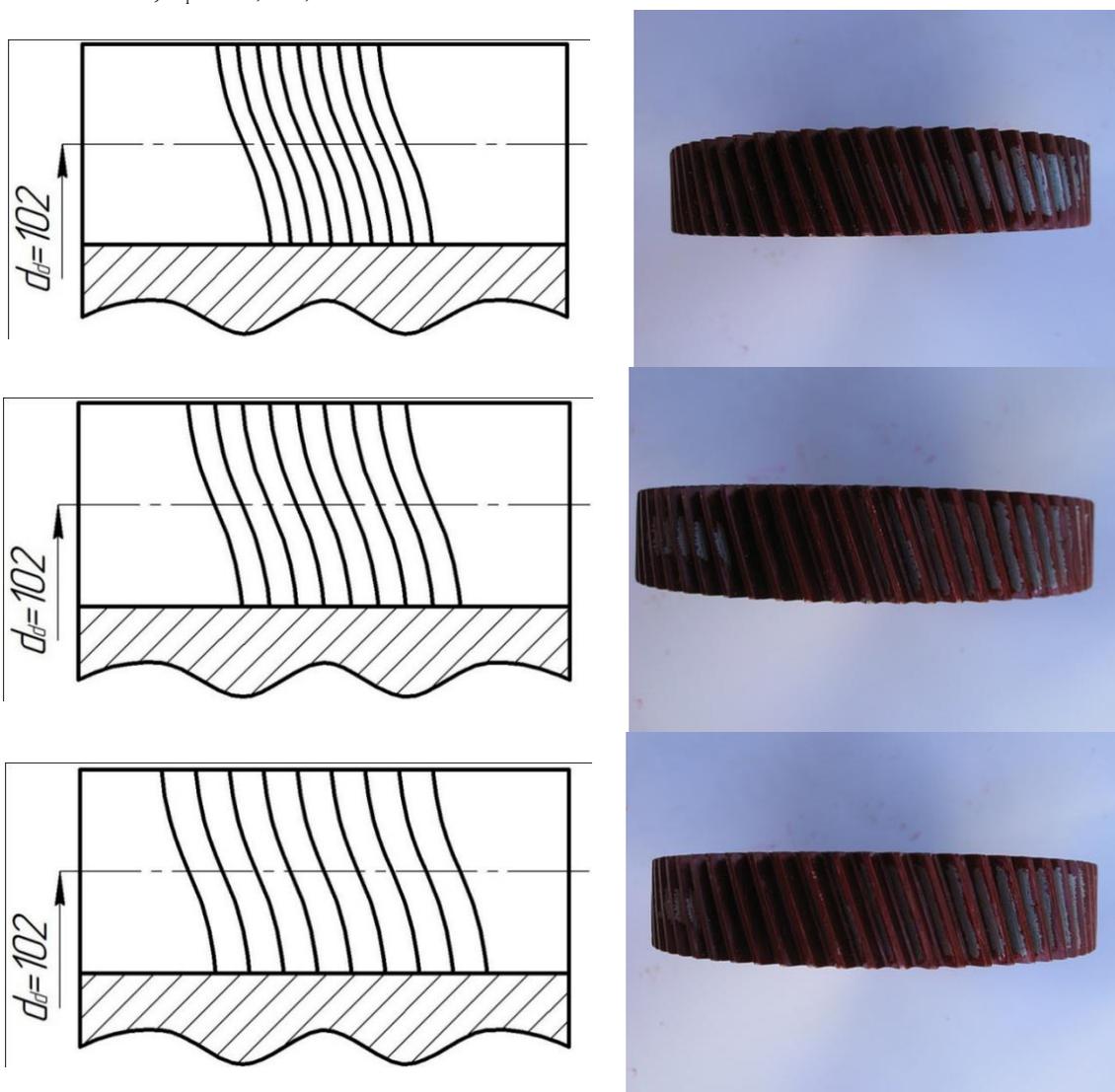


Рис. 4. Пятно контакта на зубе парного зубчатого колеса, сопряженного с четырнадцатизаходным винтовым зубчатым колесом  
Fig. 4. A contact pattern on the tooth of a paired gear coupled to a fourteen-way helical gear

Передаточное отношение в представленных гиперболоидных зубчатых передачах составляло  $u = 4,36 \dots 4,7$ . После обкатки зубьев рассматриваемых гиперболоидных зубчатых передач было найдено пятно контакта в зацеплении. Теоретическое и экспериментальное пятно контакта в передачах представлено на рис. 4.

Анализ зацеплений всех рассмотренных пар цилиндрико-гиперболоидных зубчатых передач показал, что при любом передаточном отношении в зацеплении характер касания зубьев будет линейным. С увеличением числа зубьев гиперболоидного зубчатого колеса площадь пятна контакта уменьшается, а с увеличением диаметра – возрастает [4–6].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны и сконструированы принципиально новые винтовые зубчатые передачи, имеющие линейный характер касания зубьев при любом передаточном отношении.
2. Найдена зависимость между площадью пятна контакта и геометрическими параметрами зубьев зубчатых колес, входящих в спроектированную винтовую зубчатую передачу.
3. Проведен полный факторный эксперимент для оценки влияния геометрических параметров на величину пятна контакта.
4. Определено влияние числа зубьев гиперболоидного зубчатого колеса, его диаметра и передаточного отношения передачи на величину суммарного пятна контакта в зацеплении.

### Список источников

1. Грибанов В. М. Теория гиперболоидных зубчатых передач. Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2003. 272 с.
2. Суслов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. Москва: Машиностроение, 2000. 320 с.
3. Мамлюк О. В. Развитие теории формообразования поверхностей резанием: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01. Киев, 2007. 247 с.
4. Павлов А. И. Современная теория зубчатых зацеплений. Харьков: ХНАДУ, 2005. 100 с.
5. Kirichek A. V., Fedonin O. N., Soloviev D. L., Fedonina S. O. Expanding Technological Capabilities of The Combined Hardening of Steel by Deformation // X International Scientific and Practical Conference "Innovations in Mechanical Engineering" (ISPCIME-2019). MATEC Web of Conferences. 2019. V. 297. № 05004. P. 6. (<https://doi.org/10.1051/matecconf/201929705004>).
6. Panteleyenکو F., Ostanin O., Panteleyenکو K., Petrishin G. New Boron-Containing Materials for Surface Hardening // X International Scientific and Practical Conference "Innovations in Mechanical Engineering" (ISPCIME-2019). MATEC Web of Conferences. 2019. V.297. № 05011 P. 7. (<https://doi.org/10.1051/matecconf/201929705011>)

## References

1. Griбанov V. M. *Teoriya giperboloidnykh zubchatykh peredach* [Theory of hyperboloidgears]. Lugansk, VNU im. V. Dalya, 2003, 272 p.
2. Suslov A. G. *Kachestvo poverkhnostnogo sloya detaley mashyn* [Quality of machine parts upper layer]. Moscow, Mashinostroenie, 2000, 320 p.
3. Mamlyuk O. V. *Razvitie teorii formoobrazovaniya poverkhnostey rezaniem. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of theory of surface shape formation by cutting. Dis. dr. techn. sci]. Kiev, 2007, 247 p.
4. Pavlov A. I. *Sovremennaya teoriya zubchatykh zatsepleniy* [Modern theory of gearing]. Khar'kov, HNADU, 2005, 100 p.
5. Kirichек A. V., Fedonin O. N., Soloviev D. L., Fedonina S. O. Expanding Technological Capabilities of The Combined Hardening of Steel by Deformation. *X International Scientific and Practical Conference "Innovations in Mechanical Engineering" (ISPCIME-2019). MATEC Web of Conferences*. 2019, vol. 297, no. 05004. P. 6 (<https://doi.org/10.1051/matecconf/201929705004>).
6. Panteleyenko F., Ostanin O., Panteleyenko K., Petrishin G. New Boron-Containing Materials for Surface Hardening. *X International Scientific and Practical Conference "Innovations in Mechanical Engineering" (ISPCIME-2019). MATEC Web of Conferences*, 2019, vol. 297, no. 05011, p. 7 (<https://doi.org/10.1051/matecconf/201929705011>).

## Информация об авторах

**О. С. Витренко** – кандидат технических наук, доцент  
**В. Г. Сукиасов** – кандидат технических наук, доцент, [vladimir.sukiasov@klgtu.ru](mailto:vladimir.sukiasov@klgtu.ru)  
**И. Б. Воронцов** – аспирант кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга, [sp207@yandex.ru](mailto:sp207@yandex.ru)

## Information about the authors

**O. S. Vitrenko** – PhD in Engineering, Associate Professor  
**V. G. Sukiasov** – PhD in Engineering, Associate Professor, [vladimir.sukiasov@klgtu.ru](mailto:vladimir.sukiasov@klgtu.ru)  
**I. B. Vorontsov** – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology and Engineering Consulting, [sp207@yandex.ru](mailto:sp207@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 20.05.2022; одобрена после рецензирования 27.05.2022; принята к публикации 15.07.2022;  
The article was submitted 20.05.2022; approved after reviewing 27.05.2022; accepted for publication 15.07.2022;

Научная статья

УДК 629.12: 621.43

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-153-162

### Анализ образования оксидов азота в двухтопливном двухтактном двигателе

Лариса Юрьевна Волкова<sup>1</sup>, Кирилл Сергеевич Дорош<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>volkova0969@mail.ru

<sup>2</sup>kirill.dorosh@klgtu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности устройства и функционирования системы газоподачи в двухтактные двигатели внутреннего сгорания на примере системы впрыска газа под высоким давлением от компании MAN B&W. Обозначены главные методики использования газа в качестве основного вида топлива для танкеров-газовозов. Детально описан процесс распределения отпарного газа на судовых потребителях посредством использования многоступенчатых поршневых компрессоров высокого давления. Указаны основные отличия систем двигателей с впрыском газа от обычных электронных двигателей серии ME-C. Приведен анализ механизмов образования оксидов азота, представлена методика расчета посредством интегрального уравнения, применение которого является фундаментальным для последующего использования в математических моделях расчета для двухтопливных двигателей. Рассмотрена расширенная термическая модель формирования оксидов азота (модель Зельдовича), выведены формулы расчета констант скорости реакции для механизма Зельдовича. На основании указанных формул и уравнений C-O-H, состоящих из окисления и реакций диссоциации водорода и кислорода, получено уравнение равенства системы, из которого при уточнении отношения концентрации оксида азота к его равновесному значению и скоростей реакции выведено интегральное уравнение для расчета количества оксидов азота. Отражены результаты многозонного расчета оксидов азота при различных нагрузках двигателя MAN 6S70 ME-GI (25, 50, 75, 100 %) на двухтопливном и однотопливном режимах. Показано, что наибольшие выбросы производятся в момент запала пилотного (воспламеняющего) топлива.

**Ключевые слова:** двухтопливный двигатель, оксиды азота, двухтактный двигатель, танкер-газовоз

**Для цитирования:** Волкова Л. Ю., Дорош К. С. Анализ образования оксидов азота в двухтопливном двухтактном двигателе // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 153–162.

Original article

## NO formation analysis in a dual fuel two stroke engine

Larisa Yu. Volkova<sup>1</sup>, Kirill S. Dorosh<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>volkova0969@mail.ru

<sup>2</sup>kirill.dorosh@klgtu.ru

**Abstract.** This article shows basic features of the gas supply system in two-stroke dual-fuel engines with a high-pressure gas injection system from MAN B&W. The main methods of using gas as the main fuel for LNG tankers have been considered. Distribution of boil-off gas to ship consumers through the use of high-pressure multi-stage reciprocating compressors is described. The main differences between gas injection engine systems and conventional electronic engines of the ME-C series are indicated. The article presents the analysis of the mechanisms of nitrogen oxides formation; a calculation method is presented using an integral equation. An extended thermal model for the formation of nitrogen oxides (the Zeldovich mechanism) has been considered, formulas for calculating the reaction rate constants for the Zeldovich mechanism have been developed. According to the equation, when refining the ratio of the nitrogen oxide concentration to its equilibrium value and the reaction rates, an integral equation has been obtained for calculating the amount of nitrogen oxides. The paper shows the results of the multi-zone calculation of nitrogen oxides at various loads of the MAN 6S70 ME-GI engine (25%, 50%, 75%, 100%) in dual-fuel and single-fuel modes. It is shown that the largest emissions are produced at the moment of pilot fuel ignition.

**Keywords:** dual-fuel engine, nitrogen oxides, two-stroke engine, LNG tanker

**For citation:** Volkova L. Yu., Dorosh K. S. NO formation analysis in a dual fuel two stroke engine. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):153–162.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных задач, с которой сталкивается судоходная отрасль сегодня, является соблюдение все более строгих законов о контроле за выбросами, реализуемых в положении Международной морской организация (ММО) (уровень 3 через Приложение 6 Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов и стандарты главы 4 Агентства по охране окружающей среды США).

Фактически, Приложение 6 от ММО ограничивает основные загрязнители воздуха, содержащиеся в выхлопных газах судов, включая оксиды азота (NO<sub>x</sub>), оксиды серы (SO<sub>x</sub>), а также запрещает преднамеренные выбросы озоноразрушающих веществ в зонах контроля выбросов ЕСА.

В 2015 году ММО представила пересмотренное Приложение 6 к МАРПОЛ, в котором разъясняется, что глобальный предел содержания серы будет дополнительно снижен с 3,5 до 0,5 % с 1 января 2020 года, включая дальнейшее сокращение выбросов NO<sub>x</sub> за счет более строгого предела выбросов уровня 3 для двигателей судов в странах ЕС, построенных после 1 января 2016 года.

Вышеуказанные правила ввели в судостроение такие определения, как проектный индекс энергоэффективности (EEDI), план управления энергоэффективностью судна (SEEMP), эксплуатационный показатель энергоэффективности (EEOI), которые, в свою очередь, усилили разработки в направлении снижения расхода топлива и внедрение альтернативных видов топлива.

Новое поколение двигателей может работать как в двухтопливном, так и в чисто дизельном режимах. Однотопливный режим подразумевает использование обычного дизельного или тяжелого низкосернистого топлива, в то время как в двухтопливном режиме основным топливом является газ, к которому подается малый объем запального топлива (дизельного или тяжелого). Использование природного газа позволяет снизить выбросы оксидов азота на 45–85, оксидов серы – на 60–80 %.

Двухтопливные двигатели работают в соответствии с методологией сжигания обедненной смеси, которая значительно снижает пиковые температуры выхлопных газов, что приводит к уменьшению выбросов NOx. В процессе обедненного сгорания воздушно-топливная смесь инициируется впрыскиванием небольшого количества пилотного топлива (менее 1 %), которое воспламеняется, как и в обычном дизельном цикле, давая высокоэнергетический источник воспламенения для основного заряда. Четырехтактные двигатели работают при низком давлении (5–7 бар) со средним эффективным давлением около 25 бар.

Что касается двухтактных двигателей, то их существует два типа: двухтопливные двигатели высокого давления и двухтопливные низкого. Первые работают при давлении около 300 бар, при котором газ впрыскивается во время фазы сгорания, у вторых газовое топливо впрыскивается при давлении 7 бар на стадии сжатия.

Основной фокус данной статьи направлен на анализ процесса сгорания топлива и образования оксидов азота в двухтактном двухтопливном судовом двигателе внутреннего сгорания (ДВС).

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным критерием отличия двухтопливных двигателей является технология впрыскивания газообразного топлива. Концепция впрыска низкого давления широко применяется компанией "Вяртсила" как для двухтактных (X-DF, WinGD), так и для четырехтактных двигателей. Газ впрыскивается в процессе такта сжатия, что обеспечивает хорошую смешиваемость с воздухом перед впрыскиванием запального (пилотного) топлива. Данные двигатели известны как двухтопливные ДВС с предварительным смешиванием с фумигационным режимом впрыска.

Другой технологией является впрыск газообразного топлива под очень высоким давлением (ME-GI – Main engine Electronic Gas Injection) в камеры сгорания непосредственно перед впрыском и воспламенением пилотного топлива. Впрыск пилотного топлива начинается раньше, чем впрыск газа в камеру. На рис. 1 показана принципиальная схема циркуляции газа на конвенционном танкере-газовозе дедвейтом 114 тыс. т.

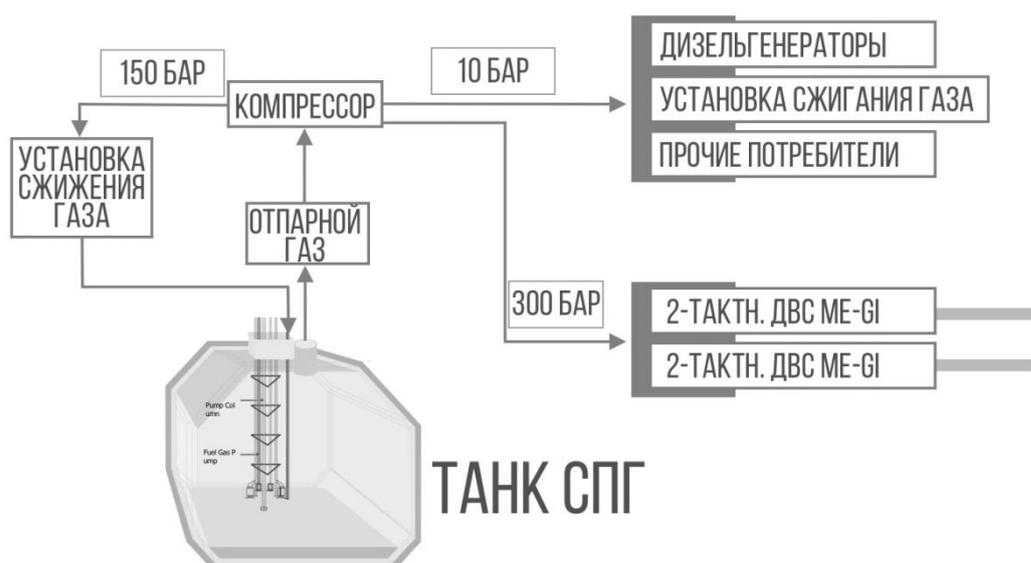


Рис. 1. Принципиальная схема циркуляции газа  
Fig 1. Gas circulation diagram

Газ находится в грузовом танке в жидком состоянии при температуре 159,8 °С, при которой его объем уменьшается в 600 раз по отношению к газообразному состоянию. Ввиду непрерывного теплообмена с окружающей средой происходит постоянное выкипание газа. Отпарной газ скапливается в верхней части танка при давлении от 50 до 350 миллибар и подается на шестиступенчатые компрессоры, с которых, в свою очередь, происходит распределение газа между потребителями – главными и вспомогательными двигателями, а также между установкой сжижения газа и установкой его сжигания. С шестой ступени газ под давлением 300 бар поступает на главные ME-GI двигатели. Концепт двигателей данной серии в сравнении с серией ME-C имеет следующие нововведения:

1. Систему двустенных трубопроводов для подачи газа;
2. Систему обнаружения утечек газа и вентиляции пространства между внешним и внутренним трубопроводом;
3. Систему уплотнительного масла, полностью интегрированную в двигатель, которая подает масло к газовым клапанам, разделяющим контроль подачи топлива и газа;
4. Систему инертного газа;
5. Систему газоанализаторов углеводородных соединений для оповещения об утечке газа из газовых клапанов.

Переключение на работу в однопаливный режим происходит без потери мощности, последнее обновление данной серии двигателей позволяет производить перевод одного цилиндра, оставляя все остальные в работе на газу.

Система газоподачи ME-GI используется для распределения газа высокого давления к каждому блоку клапанов. Газопровод тщательно спроектирован с использованием двустенных трубопроводов, первичная изоляция которых направлена на предотвращение любой утечки в машинное отделение. Пространство вокруг фланцев, клапанов и манифольдов надлежащим образом постоянно вентилируется и контролируется на содержание углеводородных соединений. Клапаны впрыска газа регулируются вспомогательной системой управления маслом. Эта система включает в себя масляную систему гидравлического управления ME и

систему электронного впрыска газа (ELGI) [1], которая подает гидравлическое управляющее масло под высоким давлением к клапану впрыска газа, контролируя синхронизацию и открытие газового клапана. Газ поступает на клапан впрыска через отверстия в крышке цилиндра. В качестве дополнительной системы безопасности установлены уплотнительные кольца для предотвращения утечки газа между крышкой цилиндра и клапаном впрыска газа, а также между корпусом клапана и направляющей шпинделя. Система гидравлического управляющего масла находится под давлением 350–370 бар, что предотвращает потенциальные утечки газа в масляную систему.

При нормальной работе клапан впрыска газа открывается при соответствующем угле поворота коленчатого вала, газ впрыскивается и подается непосредственно в камеру сгорания (рис. 2). Благодаря такой технологии впрыска вероятность попадания несгоревшего газа в подпоршневое пространство двигателя невозможно при правильном своевременном техническом обслуживании. В дополнение ко всему установлена сеть газоанализаторов во впускном ресивере, при срабатывании которых полностью отключается система впрыска газа и производится продувка всей системы инертным газом.

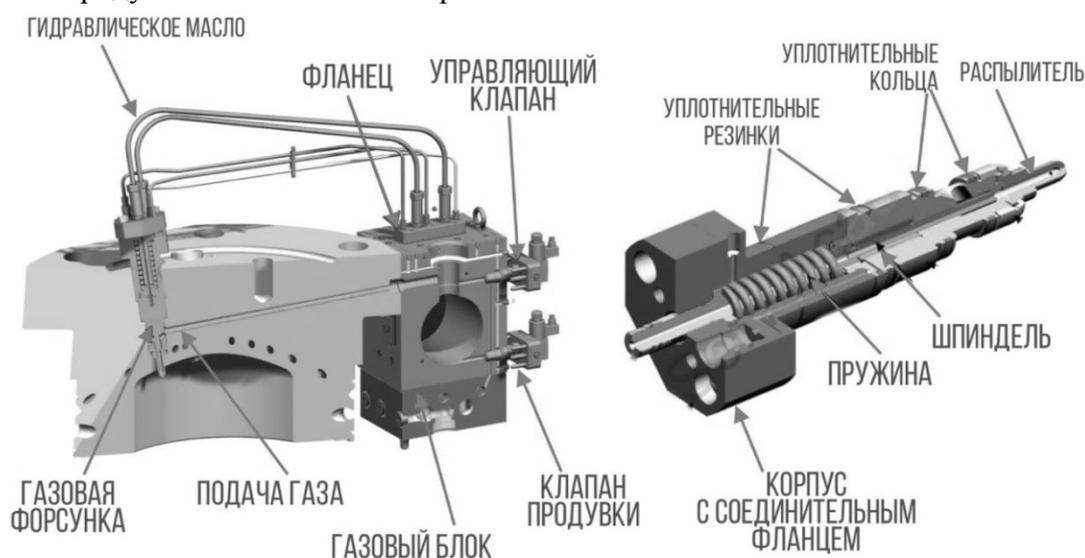


Рис. 2. Устройство системы впрыска газа высокого давления  
Fig 2. Drawing diagram of a high pressure gas injection system

В открытых источниках существуют различные математические модели, описывающие процесс сгорания в двухтопливных ДВС. Ученые Хоунталас и Папагианнакис [2] разработали двузонный метод расчета сжигания пилотного топлива и газового. Предполагается, что все количество газового топлива и воздуха представляет собой однородную среду для впрыска запального топлива. В момент впрыска пилотного топлива рассматривается двузонная модель, в которой температура и давление смеси на каждом этапе впрыска остаются одинаковыми, теплообмен между средами не учитывается. Таким образом, воспламенение газоздушной смеси происходит только после самовоспламенения пилотного топлива. Обе среды разделены границей конической струи, образующейся при впрыске пилотного топлива (рис. 3). После воспламенения среды разделяются тонким фронтом пламени, среда горения распространяется во всех направлениях, захва-

тывая среду газовой смеси. Скорость тепловыделения напрямую зависит от скорости распыления пилотного топлива и от ламинарной скорости сгорания.

В образовании оксидов азота отмечены три метода: термический (механизм Зельдовича), в начале зоны реакции (механизм Фенимора), образование азотосодержащих составляющих горючего материала. Для двигателей внутреннего сгорания используется механизм Зельдовича, по которому оксиды азота образуются в высоких температурах отработанных газов за фронтом пламени [3]. Для детального рассмотрения представим три химические реакции, управляющие образованием оксидов азота:



Скорость изменения концентрации NO записывается следующим выражением (моль/см<sup>3</sup>) [4]:

$$\frac{d}{dt} [NO] = k_1 [O][N_2] - k_{1r} [NO][N] + k_2 [N][O_2] - k_{2r} [NO][O] + k_3 [N][OH] - k_{3r} [NO][H], \quad (4)$$

где  $k_i$  и  $k_{ir}$  – константы скорости реакции для механизма Зельдовича расширенного вида, представленные ниже:

$$k_1 = 1.8 \cdot 10^{14} \exp(-38370 / T), \quad (5)$$

$$k_{1r} = 3.8 \cdot 10^{14} \exp(-425 / T), \quad (6)$$

$$k_2 = 1.8 \cdot 10^{10} T \exp(-4680 / T), \quad (7)$$

$$k_{2r} = 3.8 \cdot 10^9 T \exp(-20820 / T), \quad (8)$$

$$k_3 = 7.1 \cdot 10^{13} \exp(-450 / T), \quad (9)$$

$$k_{3r} = 1.7 \cdot 10^{14} \exp(-24560 / T). \quad (10)$$

Константы выражаются в см<sup>3</sup>/моль · с, индекс  $r$  означает, что скорость обратной реакции постоянна, температура  $T$  выражена в градусах Кельвина.

Для применения уравнения (4) необходимо представить уточнения: C–O–N система находится в равновесии и не нарушается распадом азота N<sub>2</sub>, а концентрация азота изменяется квазистационарным процессом. Первое уточнение означает, что по температуре, давлению и коэффициенту эквивалентности можно рассчитать концентрацию N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O, OH, H. Второе уточнение показывает, что скорость распада азота равна нулю. Таким образом, получим уравнение:

$$\frac{d[N]}{dt} = k_1 [O][N_2] - k_{1r} [NO][N] - k_2 [N][O_2] + k_{2r} [NO][O] - k_3 [N][OH] + k_{3r} [NO][H] = 0. \quad (11)$$

Сопоставив два уточнения, найдем:

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{2R_1(1-a^2)}{1+aR_1/(R_2+R_3)}, \quad (12)$$

где  $a$  – отношение концентрации оксида азота к его равновесному значению, при котором не происходит заметных изменений:

$$a = [NO] / [NO]_e, \quad (13)$$

а также  $R_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) – скорости реакции, через которые представлено уточнение о равновесии системы:

$$R_1 = k_1 [O]_e [N_2]_e, \quad (14)$$

$$R_2 = k_{2r} [NO]_e [O]_e, \quad (15)$$

$$R_3 = k_{3r} [NO]_e [H]_e. \quad (16)$$

Таким образом, общее количество оксидов азота считается интегральным уравнением:

$$\bar{x}_{NO} = \int_0^1 x_{NO} dx. \quad (17)$$

В качестве объекта исследования взят двухтактный ДВС компании МАН модельного ряда 6S70 ME-GI, устанавливаемый в двух экземплярах на танкерах-газовозах дедвейтом выше 100 тыс. т. Двигатель работает по технологии впрыска газа под высоким давлением, обладает номинальной мощностью 19 620 кВт и развивает 108 об./мин. на номинальных оборотах [5]. Среднее эффективное давление составляет 20 бар.

На рис. 3–6 представлены результаты многозонного расчета оксидов азота при различных нагрузках двигателя. Пунктирный график показывает равновесную концентрацию NO в зоне горения, в то время как сплошные графики иллюстрируют концентрацию, ограниченную по скорости горения.

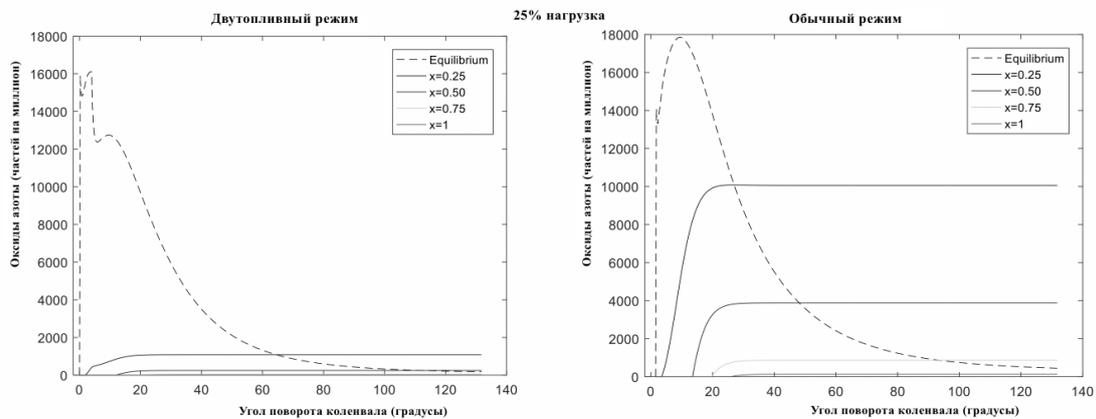


Рис. 3. График образования оксидов азота к положению коленвала на нагрузке 25 %

Fig 3. Diagram of NO formation to crank angle on 25 % load

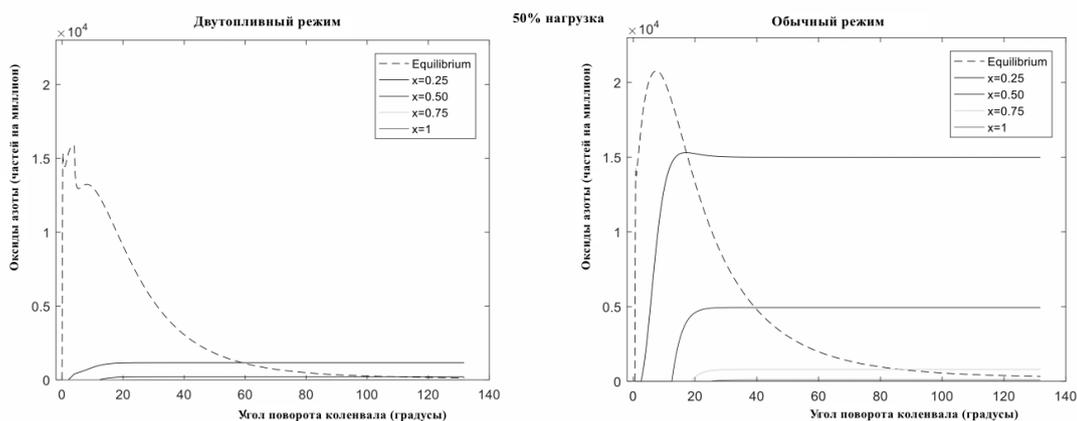


Рис. 4. График образования оксидов азота к положению коленвала на нагрузке 50 %

Fig 4. Diagram of NO formation to crank angle on 50 % load

В двухтопливном режиме пик концентрации оксидов азота приходится на момент старта процесса воспламенения пилотного топлива, затем она резко пада-

ет ввиду постепенного снижения температуры в зоне горения. Существует большая разница в концентрации оксидов азота, ограниченных по скорости горения (при разных массовых долях сгоревшего топлива, от  $x = 0,25$  до  $x = 1$ ), поскольку скорости химических реакций сильно зависят от температуры.

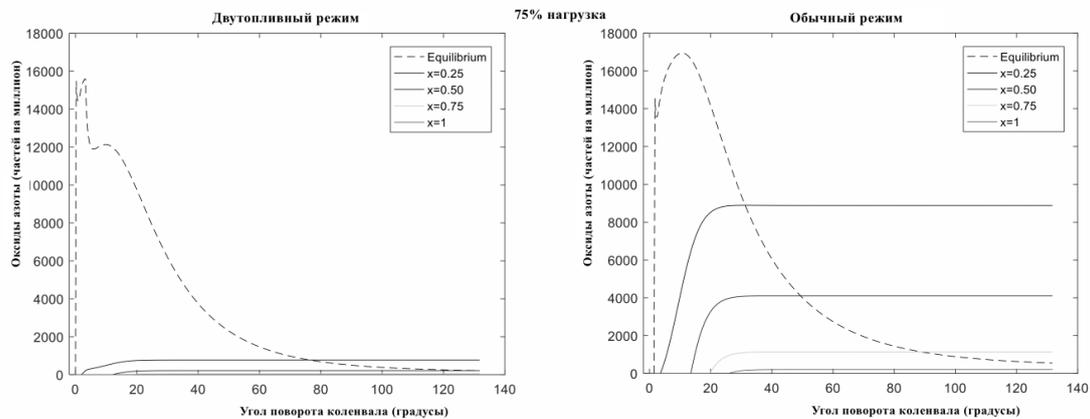


Рис. 5. График образования оксидов азота к положению коленвала на нагрузке 75 %

Fig 5. Diagram of NO formation to crank angle on 75 % load

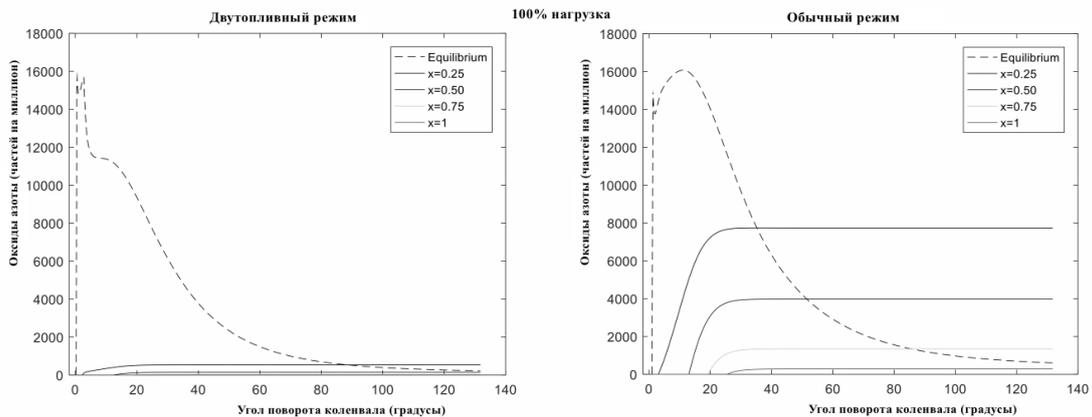


Рис. 6. График образования оксидов азота к положению коленвала на нагрузке 100 %

Fig 6. Diagram of NO formation to crank angle on 100 % load

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В рамках настоящего исследования была проанализирована модель образования оксидов азота в двухтопливных двигателях компании МАН, дано полное описание газоподачи в дизель с момента образования отпарного газа в танках до его поступления в цилиндр.

2. Из представленных графиков видно, что при двух видах топлива двигатель работает при более низких температурах в цилиндрах, что приводит к меньшему образованию оксидов азота. Тепловыделение запального топлива значительно ниже, чем у газа, из-за его предельно малого количества.

3. Образование оксидов азота рассчитывается с учетом механизма Зельдовича после определения температуры в зоне горения. Представленные графики подтверждают, что образование оксидов прямо пропорционально содержанию кислорода и температурам в цилиндре.

#### Список источников

1. Документация по эксплуатации двигателей ME-ГИ: техническая документация доп. Копенгаген: ТУРБО МД, 2017. 53 с.
2. Papagiannakis R., Hountalas D. Experimental investigation concerning the effect of natural gas percentage on performance and emissions of a DI dual fuel diesel engine // *Applied Thermal Engineering*. 2003. V. 23 P. 353–365.
3. Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А. Окисление азота при горении: учеб. пособие. Москва: АН СССР, 1947. 347 с.
4. Зельдович Я. Б., Воеводский В. В. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах: учеб. пособие. Москва: ММИ, 1947. 294 с.
5. Макушев Ю. П., Жигadlo А. П., Волкова Л. Ю. Конструктивные особенности систем подачи топлива современных дизелей: учеб. пособие. Омск: СибАДИ, 2020. 202 с.

#### References

1. Dokumentatsiya po ekspluatatsii dvigateley ME-GI: tekhnicheskaya dokumentatsiya dop. Kopenhagen. TURBO MD, 2017, 53 p.
2. Papagiannakis R., Hountalas D. Experimental investigation concerning the effect of natural gas percentage on performance and emissions of a DI dual fuel diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 2003, vol. 23, pp. 353–365.
3. Zel'dovich Ya. B., Sadovnikov P. Ya., Frank-Kamenetskiy D. A. *Okislenie azota pri gorenii* [Nitrogen oxidation during combustion]. Moscow, AN SSSR Publ., 1947, 347 p.
4. Zel'dovich Ya. B., Voevodskiy V. V. *Teplovoy vzryv i rasprostranenie plameni v gazakh* [Thermal explosion and flame dissipation in gases]. Moscow, MMI Publ., 1947, 294 p.
5. Makushev Yu. P., Zhigadlo A. P., Volkova L. Yu. *Konstruktivnye osobennosti sistem podachi topliva sovremennykh dizeley* [Design features of fuel supply systems of modern diesel engines]. Omsk. SibADI Publ., 2020, 202 p.

#### Информация об авторах

**Л. Ю. Волкова** – кандидат технических наук, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

**К. С. Дорош** – аспирант кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

**Information about the authors**

**L. Yu. Volkova** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

**K. S. Dorosh** – post-graduate student of the Department of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

Статья поступила в редакцию 29.03.2022; одобрена после рецензирования 13.04.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 29.03.2022; approved after reviewing 13.04.2022; accepted for publication 15.07.2022

Научная статья

УДК 629.5.01

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-163-172

### Модернизация универсальной сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций корпусов судов

Павел Романович Гришин<sup>1</sup>, Сергей Васильевич Дятченко<sup>2</sup>, Егор Ильич Сергеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

<sup>2,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>pavel.grishin@klgtu.ru

<sup>2</sup>svd.ks@mail.ru

<sup>3</sup>egor.sergeev@klgtu.ru

**Аннотация.** В системе объекта морской (речной) техники корпус судна представляет собой наиболее сложную техническую подсистему. От качества проектирования, изготовления и функционирования последней во многом зависят технико-экономические показатели всей системы в целом, которая, в свою очередь, определяет тип судна и его технико-экономические показатели. В статье показано направление создания нового методического обеспечения для оптимизации конструкции корпуса на стадиях ее проектирования и создания. Предусматривается нахождение вектора оптимизируемых переменных, при котором критерий эффективности достигает экстремального значения.  $F(x) \rightarrow \min(\max)$ , и тем самым соблюдаются требования к конструкции корпуса судна, заданные с соответствующими ограничениями технического задания. Чтобы решить данную задачу, на стадиях проектирования конструкции используют Правила Российского морского регистра судоходства (РМРС), а также согласованные с ними соответствующие методики ее оптимизации. Для достижения этой цели необходимо создание 3D-моделей конструкций и 3D-моделей соответствующей сборочно-сварочной оснастки. Представлены предложения по модернизации универсальной стоечной сборочно-сварочной оснастки с учетом требований к технологии изготовления корпусных конструкций судов, направленных на повышение точности их изготовления, улучшение качества сварных соединений конструкций, механизации и автоматизации производственных процессов и уменьшение напряженно-деформированного состояния в создаваемых конструкциях. Кроме того, проведен анализ напряжений и деформаций, возникающих в конструкциях, которые позволили оценить целесообразность такой модернизации для повышения точности и технологичности изготовления корпусных конструкций и уменьшения их напряженно-деформированного состояния. Построены эскизные и расчетные модели данной оснастки. По результатам расчетов сделаны выводы.

---

© Гришин П. Р., Дятченко С. В., Сергеев Е. И., 2022

**Ключевые слова:** судостроение, конструкция судна, сборочно-сварочная оснастка, математическая модель, характеристики судна, 3D-модель, 3D-моделирование

**Для цитирования:** Гришин П. Р., Дятченко С. В., Сергеев Е. И. Модернизация универсальной сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций корпусов судов // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 163–172.

Original article

### Modernization of universal assembly and welding fittings for making ship hull sections

Pavel R. Grishin<sup>1</sup>, Sergey V. Dyatchenko<sup>2</sup>, Egor I. Sergeev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

<sup>2,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>pavel.grishin@klgtu.ru

<sup>2</sup>svd.ks@mail.ru

<sup>3</sup>egor.sergeev@klgtu.ru

**Abstract.** The paper shows the urgency of creating a new methodological support for solving one of the urgent problems of optimizing the hull structure at the stages of its design and creation, which provides for finding a vector of optimized variables at which the efficiency criterion reaches an extreme value.  $F(x) \rightarrow \min(\max)$  and the requirements for the structures of ships are fulfilled, specified by the corresponding restrictions  $\psi$ , and determining the requirements of the technical specifications for the structures being created and their manufacturing technology. To solve the problem of optimizing the structure, a 3D-model of the structure and a 3D-model of assembly and welding equipment have been created. Taking into account the requirements of the technology to improve the accuracy of manufacturing the hull structures of ships and improve the quality of welded structures, as well as the requirements to reduce the stress-strain state in the created structures, the article makes proposals for the modernization of the universal rack-mount assembly and welding equipment and analyzes the stresses and strains arising in the structures, which has made it possible to assess feasibility of such modernization in order to increase accuracy and manufacturability of making hull structures and reduce their stress-strain state. Sketch and design models of this equipment have been built. Conclusions have been made based on the calculations results.

**Keywords:** shipbuilding, vessel design, assembly and welding equipment, mathematical model, vessel characteristics, 3D-model, 3D-modeling

**For citation:** Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Sergeev E. I. Modernization of universal assembly and welding fittings for making ship hull sections. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):163–172.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями повышения технико-экономических показателей для новых проектов судов, создаваемых в условиях базовых предприятий, являются: снижение сроков их постройки; уменьшение трудоемкости изготовления корпусных конструкций, улучшение точности их изготовления и снижение напряженно-деформированного состояния; повышение уровня механизации и автоматизации стапельных работ, использование современных оптических средств при их проведении, применение блочного метода формирования корпуса и его изготовления без монтажных припусков. Повышение точности изготовления конструкций и блоков позволяет снизить уровень их напряженно-деформированного состояния и обеспечить необходимые прочностные характеристики корпуса в процессе его эксплуатации, а также обеспечить существенное снижение трудоемкости сборочных и проверочных работ [1–4]. Переход к изготовлению конструкций и блоков в "чистый размер" предусматривает необходимость улучшения уровня механизации и автоматизации производства, использования современных программных продуктов и средств технологического обеспечения. Известны работы, направленные на повышение точности изготовления конструкций, собираемых на сборочно-сварочной оснастке [2, 5]. Для улучшения точности изготовления конструкций секций и блоков необходимы их 3D-модели, а также новые сборочно-сварочные стенды, постели, судовозные тележки, тахеометры и универсальное монтажное и сварочное оборудование. Целью работы является создание легко реконструируемой механизированной универсальной сборочно-сварочной оснастки, гарантирующей необходимую точность обводов для сборки секций в "чистый размер" и обеспечивающей в процессе создания конструкций необходимый уровень их напряженно-деформированного состояния.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Корпус судна представляет собой сложную техническую подсистему соединенных между собой конструкций, гарантирующих ему необходимую прочность и надежность при эксплуатации. От уровня напряженно-деформированного состояния конструкций корпуса, получаемого при его изготовлении и в процессе эксплуатации, зависят сроки эксплуатации и безопасность мореплавания. Следовательно, необходимо создание конструкции с минимальным напряженно-деформированным состоянием. В качестве критериев прочности используют эквивалентные максимальные напряжения по Мизесу, поэтому в судостроении важно обеспечить минимальное напряженное состояние конструкций при проведении сборочно-сварочных работ. Основываясь на статистике из источника [5, с. 254], размер оснастки был принят 18x10 м. Также согласно источнику [5] в качестве лекал стали использоваться коксы на резьбовом валу (рис. 1 и 2).

По данным плаза, была разработана концептуальная 3D-модель для анализа оснастки с применением ПО Blender со свободной лицензией, которая представлена на рис. 3–5. Данная модель была нужна для более полного понимания общего вида, а также возможных внесений изменений на ранних этапах проектирования.

Главные стойки, как и сервопривод, устанавливаются на подвижной салазке, что позволяет изменять или корректировать размер шпации по получившимся "рельсам". К выходному валу сервопривода присоединяется резьбовой, на него же крепится кокс, изменяющий свое положение по резьбовому соединению вертикально. На верхней части кокса на резьбовом соединении установлена корректировочная головка, которая более точно прилегает к конструкции по высоте.

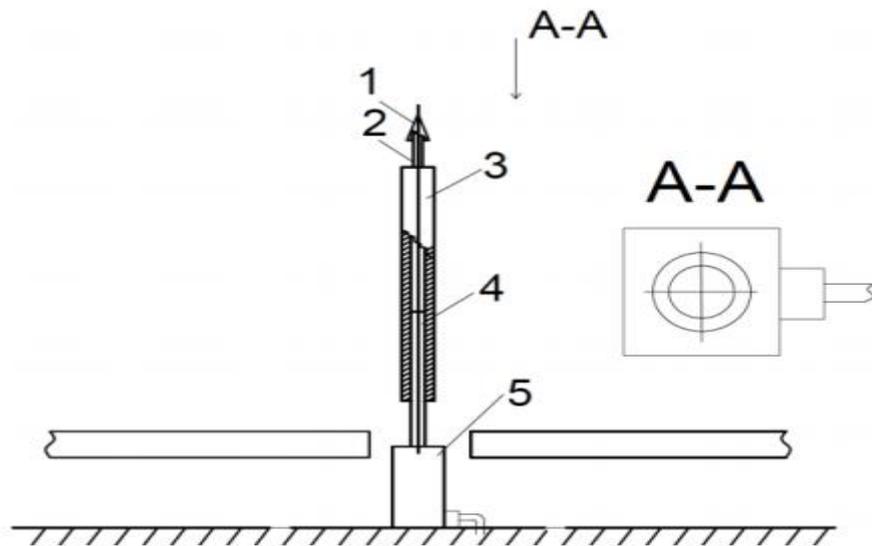


Рис. 1. Кокс на резьбовом валу с сервоприводом: 1 – корректировочная головка кокса; 2 – резьбовой вал головки кокса; 3 – подвижный кокс; 4 – основной резьбовой вал; 5 – сервопривод

Fig. 1. Coke on a threaded shaft with a servo drive: 1 – correction head of coke; 2 – threaded shaft of the coke head; 3 – movable coke; 4 – main threaded shaft; 5 – servo drive

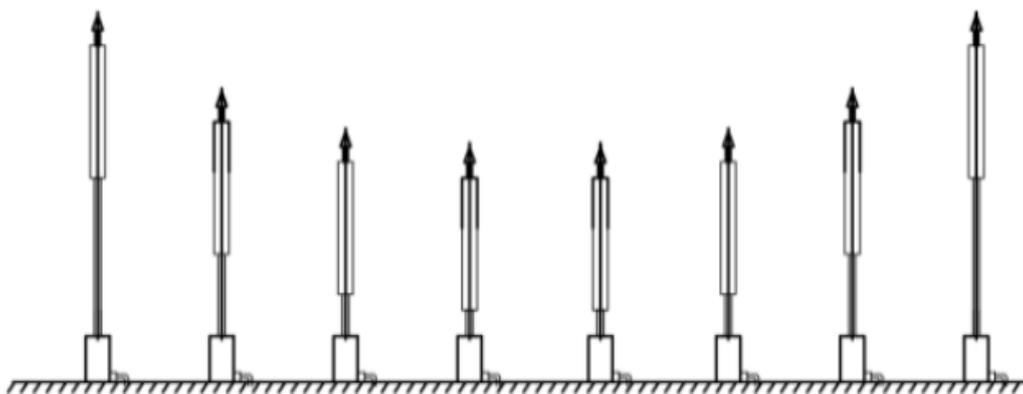


Рис. 2. Эскиз лекальной поверхности на основе коксов на сервоприводах  
Fig. 2. Sketch of a patterned surface based on cokes on servo drives

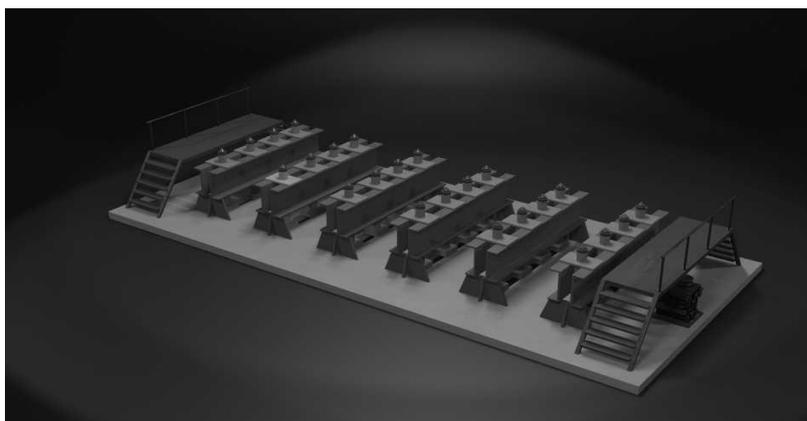


Рис. 3. 3D-модель оснастки на основе коксов на сервоприводах  
(общий вид)

Fig. 3. 3D-model of equipment based on cokes on servo drives (general view)

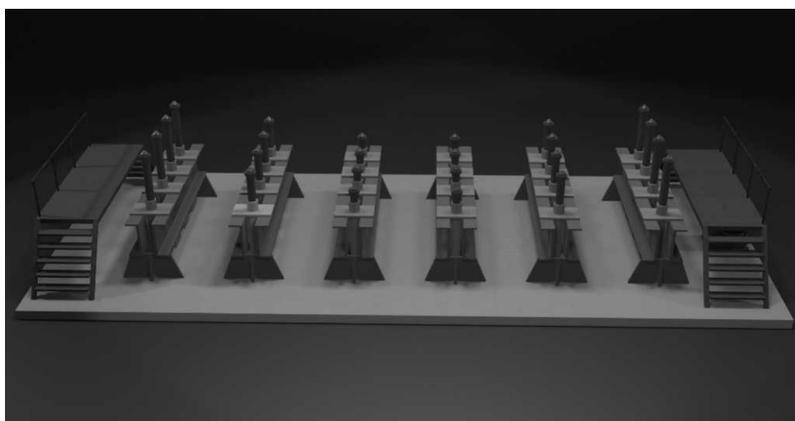


Рис. 4. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов  
на сервоприводах (боковой вид)

Fig. 4. 3D-model of universal rack equipment based on cokes on servo drives  
(side view)

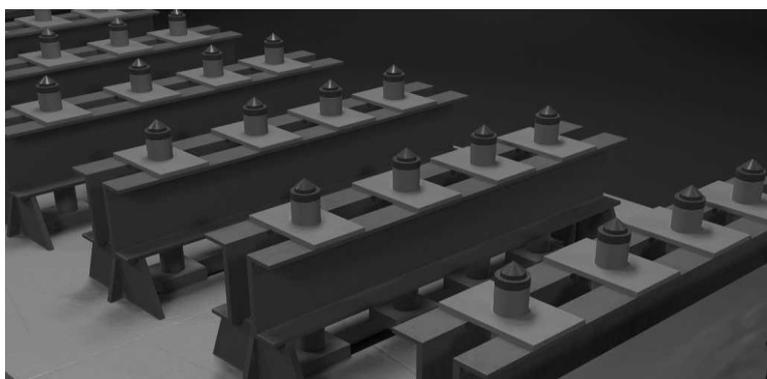


Рис. 5. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов на серво-  
приводах (приближенный вид на коксы)

Fig. 5. 3D-model of universal rack fittings based on cokes on servo drives (close  
view of cokes)

Как видно из вышепредставленных изображений, стойки расположены по площади оснастки. Все кабели для подключения питания двигателей будут присоединяться к питающему щиту с автоматическими предохранителями для экстренного отключения привода, кабеля сигнала – на пульт управления стойками, туда же загружаются координаты плазовых данных секции. Для оснастки задается базовая плоскость, от которой выносятся ординаты на коксовое поле постели. За базовую принимается плоскость, параллельная основной и лежащая в плоскости вершин коксов, выставленных в диаметральную по килевой линии, затем все данные преобразуются в сигнал для энкодера, и стойка передвигается на необходимую высоту.

После утверждения общего вида оснастки и исправления некоторых ошибок в модели для исследования напряженно-деформированного состояния корпусных конструкций судна была спроектирована расчетная 3D-модель выше указанной оснастки в ПО Autodesk Inventor, показанная на рис. 6, а также проведен анализ модели на статические и динамические напряжения, результаты которого приведены ниже на рис. 6–9:

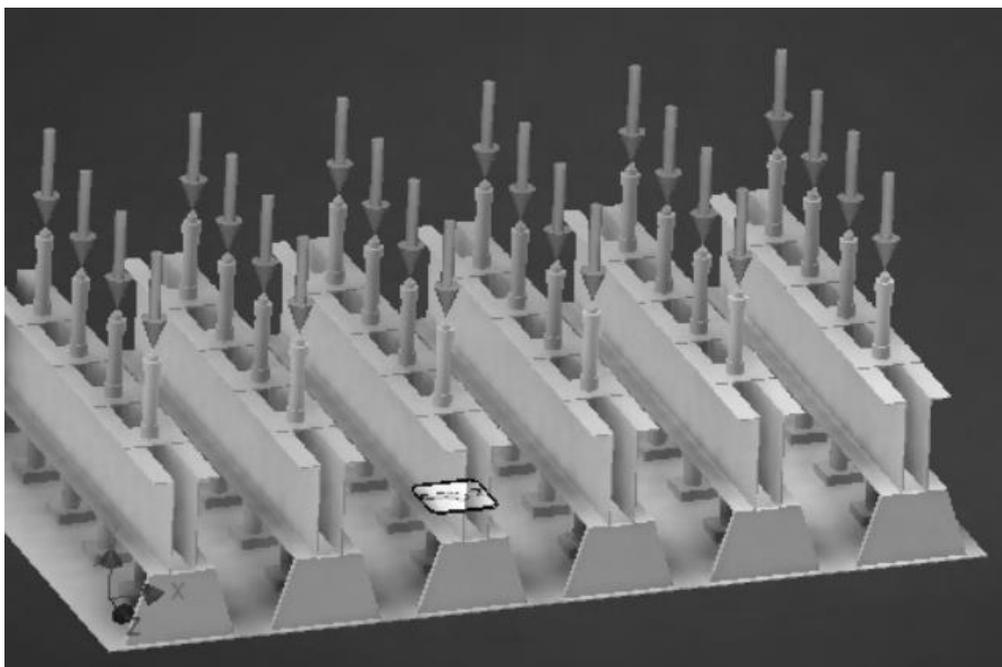


Рис. 6. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов на сервоприводах в ПО AutodeskInventor (общий вид с показанной нагрузкой)

Fig. 6. 3D-model of servo coke-based universal rack rigging in Autodesk Inventor software (general view with load shown)

В первом испытании стенд был проверен по критерию максимального напряжения по Мизесу, известному по теории формоизменения. Предельная текучесть рассматривается в основном как качество предельного напряжения. Благодаря программе от Autodesk Inventor можно не только использовать предельное растяжение модели, но и поставить свое значение предельного напряжения, это позволяет получить результаты в зависимости от использованных данных, приведенных на рис. 7.

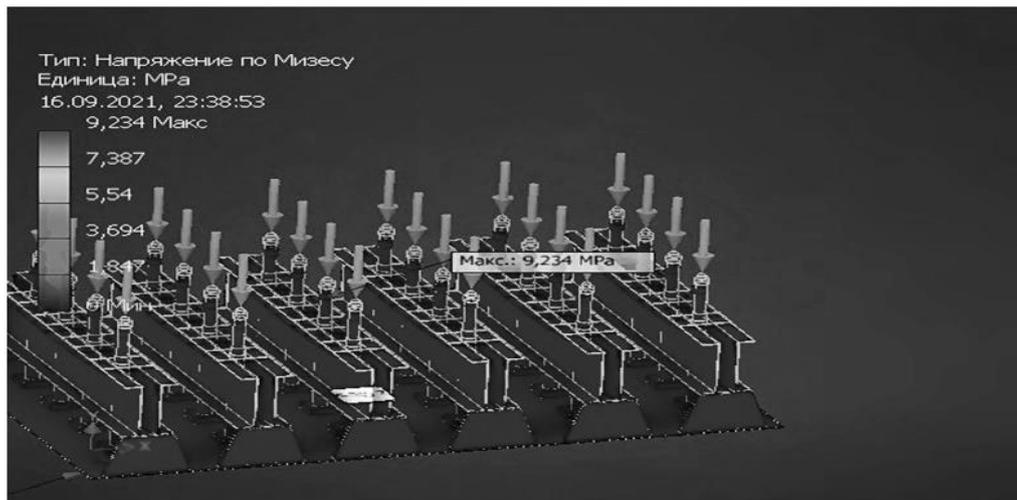


Рис. 7. Напряжение по Мизесу  
Fig. 7. Mises tension

После проведения испытания по Мизесу был осуществлен анализ конструкции по первому основному напряжению. В данном анализе представлено максимальное напряжение, действующее перпендикулярно плоскости, на которое, предполагаемо, будет накладываться секция с касательным напряжением, равным нулю. Таким образом, настоящий анализ показывает максимальное напряжение при растяжении, которое возникает в самой конструкции и ее деталях после наложенной на нее нагрузки. Результат анализа представлен на рис. 8.

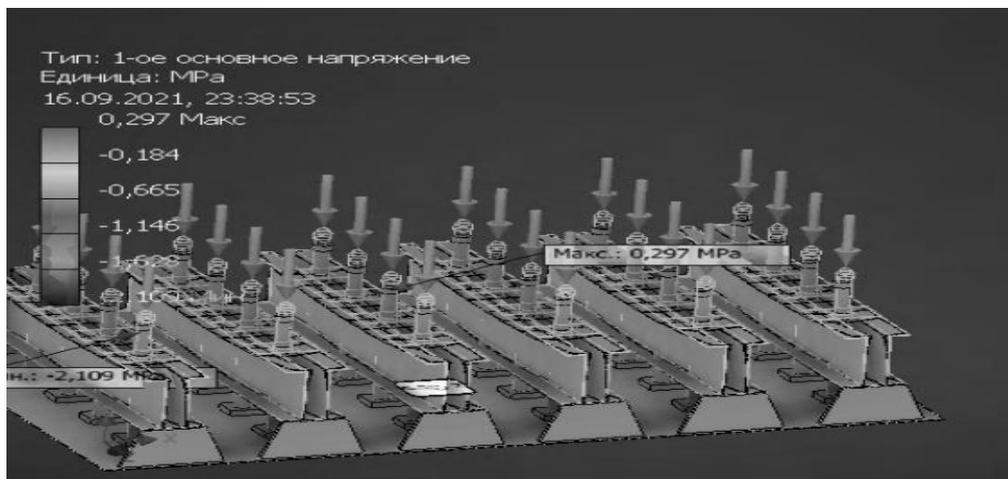


Рис. 8. Первое основное напряжение  
Fig. 8. 1st main tension

Таким же образом был проведен анализ и по третьему основному напряжению, где рассматривались минимальные напряжения, также воздействующие на перпендикулярную плоскость, а именно на поверхность коксов, где касательные напряжения равны нулю. Данный анализ позволяет определить максимальное сжимающее напряжение, которое возникает в конструкции и в самих ее деталях при нагрузке секции. Результаты этого анализа приведены на рис. 9.

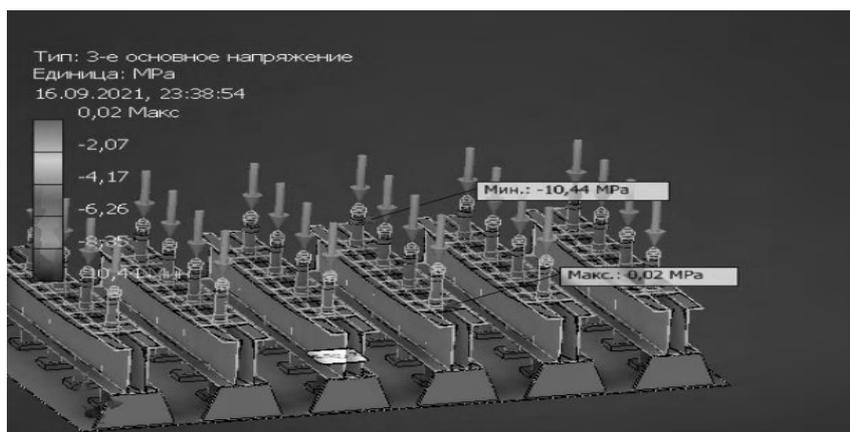


Рис 9. Третье основное напряжение  
 Fig. 9. 3rd main tension

Следующими этапами были проверка на смещение (деформацию) конструкции и более конкретизированные анализы по смещению (деформации) опорных конструкций на осях X и Y, а также по различным комбинациям осей. Их результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сила и момент реакции в зависимостях  
 Table 1. Reaction force and moment in dependencies

Имя зависимости	Сила реакции		Реактивный момент	
	Величина	Компонент (X,Y,Z)	Величина	Компонент (X,Y,Z)
Зависимость фиксации: 1	21664,1Н	-17,7752Н	431,053Нм	-431,053Нм
		21664,1Н		0Нм
		0Н		0Нм
Зависимость фиксации: 2	31292Н	0Н	263,24Нм	263,24Нм
		31292Н		0Нм
		0Н		0Нм

Таблица 2. Результаты полученных анализов  
 Table 2. Analysis results

Имя	Минимальная	Максимальная
1	2	3
Объем	1,0698E+10 мм <sup>3</sup>	
Масса	83444,6 кг	
Напряжение по Мизесу	0,000000047 МПа	9,24 МПа
Первое основное напряжение	-2,11 МПа	0,29 МПа
Третье основное напряжение	-10,44 МПа	0,019 МПа
Смещение	0 мм	0,0018 мм
Коэф.запаса прочности	15 бр	15 бр
Напряжение XX	-2,56 МПа	0,045 МПа

Окончание таблицы 2

1	2	3
Напряжение XY	-3,79 МПа	3,79 МПа
Напряжение XZ	-0,23 МПа	0,21 МПа
Напряжение YY	-8,68 МПа	0,042 МПа
Напряжение YZ	-3,59 МПа	3,67 МПа
Напряжение ZZ	-2,89 МПа	0,029 МПа
Смещение по оси X	-0,00067 мм	0,00065 мм
Смещение по оси Y	-0,0018 мм	0,000073 мм
Смещение по оси Z	-0,00042 мм	0,000123 мм
Эквивалентная деформация	0,0000000000021 бр	0,0000402 бр
1-я основная деформация	-0,0000000141 бр	0,0000156 бр
3-я основная деформация	-0,00004691 бр	0,0000000575 р
Деформация XX	-0,00000349 бр	0,00000405 бр
Деформация XY	-0,00002327 бр	0,0000233 бр
Деформация XZ	-0,00000142 р	0,00000128 бр
Деформация YY	-0,00003609 р	0,000000116 бр
Деформация YZ	-0,00002208 бр	0,0000226 бр
Деформация ZZ	-0,00000303 бр	0,0000027 бр

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что модификация оснастки, предложенная в источнике [5], проходит по всем прочностным критериям и является актуальной.

2. Данная оснастка повысит не только точность сборки секций судна, но и скорость, а также снизит трудоемкость ее изготовления, что экономически выгоднее, чем каждый раз изготавливать сборочно-сварочный стенд под определенную секцию судна.

3. С целью оптимизации корпусной конструкции необходимы специализированная оснастка и 3D-моделирование для обеспечения минимального напряженного состояния в соединениях и повышения срока эксплуатации корпусных конструкций.

4. Предлагаемая оснастка довольно удобна для серийного выпуска судов, так как с помощью информационных технологий можно поставить на поток изготовления серийные конструкции с низким уровнем напряжений в узлах.

## Список источников

1. Галкин В. А. Справочник по сборочно-сварочной оснастке цехов верфи. Ленинград: Судостроение, 1983. 304 с.

2. Иванов А. П., Долгина И. Н. Методика и результаты исследования технологических операций сварки при изготовлении секций корпусов судов // Известия Калининградского государственного технического университета. 2011. № 21. С. 157–163.

3. Кузьминов С. А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций. Ленинград: Судостроение, 1974. 286 с.
4. Мацкевич В. Д. Сборка и сварка корпусов судов. Ленинград: Судостроение, 1968. 402 с.
5. Гришин П. Р., Дятченко С. В., Шевелёва С. И. Совершенствование сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций судов // Известия Калининградского государственного технического университета. 2018. № 49. С. 252–264.

#### References

1. Galkin V. A. *Spravochnik po sborochno-svarochnoy osnastke tsekhov verfi* [Handbook of assembly and welding equipment for shipyard workshops]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983, 268 p.
2. Ivanov A. P., Dolgina I. N. Metodika i rezul'taty issledovaniya tekhnologicheskikh operatsiy svarki pri izgotovlenii sektsiy korpusov sudov [Methodology and results of the study of technological operations of welding in the manufacture of ship hull sections]. *Izvestiya KGTU*, 2011, no. 21, pp. 157–163.
3. Kuzminov S. A. *Svarochnye deformatsii sudovykh korpusnykh konstruktsiy* [Welding deformations of ship hull structures]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1974, 286 p.
4. Matskevich V. D. *Sborka i svarka korpusov sudov* [Assembly and welding of ship hulls]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1968, 402 p.
5. Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Shevelyova S. I. Sovershenstvovanie sborochno-svarochnoy osnastki dlya izgotovleniya sektsiy sudov [Improvement of assembly and welding equipment for the manufacture of ship sections]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 49, pp. 252–264.

#### Информация об авторах

**П. Р. Гришин** – руководитель студенческого конструкторского бюро машиностроения Института высоких технологий БФУ им. И. Канта, аспирант кафедры кораблестроения

**С. В. Дятченко** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой кораблестроения

**Е. И. Сергеев** – магистр кафедры кораблестроения

#### Information about the authors

**P. R. Grishin** – Head of the Student Design Bureau of Mechanical Engineering of the Institute of High Technologies of Immanuel Kant Baltic Federal University, graduate student of the Department of Shipbuilding

**S. V. Dyatchenko** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Shipbuilding

**E. I. Sergeev** – Master degree student of the Department of Shipbuilding

Статья поступила в редакцию 23.03.2022; одобрена после рецензирования 13.04.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 23.03.2022; approved after reviewing 13.04.2022; accepted for publication 15.07.2022

## **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ АПК**



Научная статья

УДК 332.1

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-175-194

### **Инновационно-инвестиционная политика развития экономики Калининградской области в новых условиях**

**Абдурашид Яруллаевич Яфасов<sup>1</sup>, Людмила Викторовна Костенко<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия,

<sup>1</sup> yafasov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9251-1187>

<sup>2</sup> kostenko\_1\_v@mail.ru

**Аннотация.** Показано состояние бифуркации в развитии российской экономики, возникшее в результате санкционной войны западных стран с Россией и требующее принятия ускоренных мер по изменению государственной отраслевой и региональной инновационно-инвестиционной политики. Как для российских участников рынка, так и для их партнеров бифуркация сопровождается деглобализацией и многофазным штормом – экономическим, информационным, технологическим, культурным, цивилизационным, куда накладываются волны климатических катаклизмов и пандемии Covid-19. Новые экономические условия рассматриваются во взаимосвязи глобальных, федеральных и региональных процессов в экономике и социальной среде. Целью работы является исследование особенностей инновационно-инвестиционной политики Калининградской области в условиях динамичных процессов внутри и вне анклавного региона со сложной транспортной логистикой. Показана сбалансированность стратегических, тактических и оперативных планов развития инфраструктуры области с крупными промышленными, сельскохозяйственными и социальными проектами, развитием человеческого капитала. Исследованы основные подходы и принципы работы региональной команды управления, концепты и механизмы инвестиционной политики с учетом особенностей региона. Показана высокая эффективность командной работы администрации Калининградской области, выбравшей точками роста крупные перспективные инновационно-инвестиционные проекты, развитие инфраструктуры индустриальных парков и крупных социальных проектов с обеспечением энергетической и продовольственной безопасности, формирующих вместе благоприятный имидж территории динамичного развития. На примере организации государственно-частного партнерства исследованы возможности ускорения экономического развития региона с обеспечением технологической и цифровой независимости. Рассмотрены основные этапы инновационного самоподдерживающегося процесса создания новой продукции с разделением функций государства и бизнеса, выделением точек роста в контексте цифровой экономики. Эффективная и сбалансированная инновационно-инвестиционная политика регионального менеджмента обеспечивает устойчивое развитие Калининградской области условиях многофазного шторма в экономике.

**Ключевые слова:** Особая экономическая зона, специальный административный район, индустриальный парк, социальный проект, инновация, бифуркация, региональный менеджмент

**Для цитирования:** Яфасов А. Я., Костенко Л. В. Инновационно-инвестиционная политика развития экономики Калининградской области в новых условиях // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 175–194.

Original article

### **Innovative and investment processes in the economy of the Kaliningrad region**

**Abdurashid Ya. Yafasov<sup>1</sup>, Lyudmila V. Kostenko<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

<sup>1</sup> yafasov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9251-1187>

<sup>2</sup> kostenko\_l\_v@mail.ru

**Abstract.** The paper shows the state of bifurcation in the development of the Russian economy, which arose as a result of the sanctions war between Western countries and Russia and requires the adoption of accelerated measures to change the state sectoral and regional innovation and investment policy. Bifurcation is accompanied by deglobalization and a multi-phase storm, both for Russian market participants and for their partners: economic, informational, technological, cultural, civilizational, which are superimposed by waves of climatic cataclysms and the Covid-19 pandemic. New economic conditions are considered in the interrelation of global, federal and regional processes in the economy and social environment. The aim of the work is to study the features of the innovation and investment policy of the Kaliningrad region in the context of dynamic processes inside and outside the enclave region and complex transport logistics. The paper shows the balance of strategic, tactical and operational plans for the development of the region's infrastructure with large industrial, agricultural and social projects, the development of human capital. The main approaches and principles of the work of the regional management team, the concepts and mechanisms of investment policy, taking into account the region characteristics, have been studied. High efficiency of the teamwork of the Kaliningrad region administration is shown, which has chosen large promising innovation and investment projects, the development of the infrastructure of industrial parks and large social projects to ensure energy and food security, which together form a favorable image of a territory of dynamic development, as growth points. On the example of organizing a public-private partnership, the possibilities of accelerating the economic development of the region with the provision of technological and digital independence are investigated. The main stages of the innovative self-sustaining process of creating new products with the separation of the functions of the state and business with the allocation of growth points in the context of the digital economy have been considered. An effective and balanced innovation and investment policy of regional management ensures sustainable development of the Kaliningrad region in the conditions of a multi-phase storm in the economy.

**Keywords:** Special economic zone, special administrative region, industrial park, social project, innovation, bifurcation, regional management

**For citation:** Yafasov A. Ya., Kostenko L. V. Innovative and investment processes in the economy of the Kaliningrad region. *Izvestiya KGTU= KSTU News*. 2022;(66):175–194.(in Russ.).

## ВВЕДЕНИЕ

Геополитическая и геоэкономическая турбулентность, возникшая вследствие санкционной войны западных стран с Россией [1, 2], требует новых подходов в обеспечении устойчивого развития экономики и социальной сферы страны, необходимость коррекции ее инновационно-инвестиционной политики, которая имеет различающиеся точки приложения в регионах. Общим для всех регионов являются существенные изменения внешней экономической среды, тотальные санкции в направлениях ограничения доступа к современным технологиям, материалам и оборудованию, замораживание средств российских участников внешнеэкономической деятельности (ВЭД) на счетах в иностранных банках, отказ в проведении платежей. Эти процессы резко актуализировали вопросы безопасности страны, обеспечения ее технологического суверенитета, необходимость перестройки инновационно-инвестиционной политики развития отраслей и регионов в новых условиях. В наиболее сложной ситуации оказалась Калининградская область ввиду специфического географического положения в окружении стран ЕС и НАТО.

Следует отметить, что Калининградская область, представляющая собой российский анклав, является одним из самых сложных регионов Российской Федерации в плане организации экономики и управления вследствие многих причин. Это оторванность от остальных регионов России границами двух государств, постоянная угроза блокады действиями соседних стран ЕС, входящих в военный блок НАТО, специфическая транспортная логистика, приводящая к дополнительным издержкам при производстве и сбыте продукции, ограниченность внутреннего рынка, высокая конкурентоспособность продукции соседних стран и многое другое [3].

Исторически, начиная с 90-х годов прошлого века, значительная часть прибавочной стоимости в продукции производственных предприятий региона создавалась с использованием импортных материалов, технологий и комплектующих. Поэтому предприятия были ориентированы на тесную кооперацию с предприятиями и организациями зарубежных стран, и хотя руководство области прикладывало большие усилия в развитии собственных производств полного цикла, 2/3 обрабатывающих производств региона, по сути, полностью зависели от импорта. Международная производственная кооперация предприятий Калининградской области была достаточно отработанной. Ситуация начала меняться после 2014 г., когда введенные странами ЕС под давлением США санкции вызвали рост курса рубля к доллару. Если в 2013 г. его средний курс составлял 31,82 руб./\$, то в 2014 он поднялся до 38,33 руб./\$, а в 2015 – до 61,15 руб./\$ ([http://fincan.ru/articles/106\\_kurs-dollar-po-godam-tablica/](http://fincan.ru/articles/106_kurs-dollar-po-godam-tablica/)). Это вынудило отечественный бизнес уделять больше внимания развитию промышленного и сельскохозяйственного производства с ориентацией на собственные интеллектуальные ресурсы [4]. В сентябре 2015 г. куратором направлений реального сектора экономики был назначен А. А. Алиханов, который уже в декабре стал руководителем

администрации Особой экономической зоны (ОЭЗ) в должности заместителя председателя Правительства, а через год – губернатором Калининградской области, и начал формировать свою команду. Отметим, Постановлением Правительства Калининградской области от 27.02.2019 № 136 функции администрации ОЭЗ в настоящее время выполняет Минэкономразвития, промышленности и торговли региона.

Целью данной работы является исследование инновационно-инвестиционной политики Калининградской области, проводимой командой губернатора в условиях динамичных процессов внутри и вне анклавного региона со сложной транспортной логистикой на фоне бифуркации мировой социально-экономической и политической системы.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 1. Бифуркация мировой социально-экономической и политической системы

Санкционная война, развязанная западными странами в отношении России, с февраля этого года привела к обвальному разрыву подавляющего большинства связей с развитыми странами Европы и Северной Америки по принципу домино, многосекторному усилению давления этих стран на Россию практически по всем направлениям социально-экономического развития, включая образование, науку и культуру, чего не наблюдалось последние 100 лет. В сравнении с санкциями 2014 г. эта война из экономической, информационной, технологической фактически перешла в войну цивилизаций [5]. Возникло классическое состояние бифуркации в обществе и государстве. Результатом выхода из нее становится дальнейшее развитие процесса деглобализации мировой экономической системы, начавшееся 10 лет назад, а также развитие России с учетом тенденций на повышение самодостаточности национальной экономики и интенсификации сотрудничества с азиатскими и южноамериканскими странами, в первую очередь с Индией, Китаем, Ираном. Естественно, это ведет к изменению структуры экономики, международной и национальной производственной кооперации, транспортной и производственной логистики с учетом значительной роли морского транспорта в экономике страны. По-новому смотрится политика развития приморских территорий страны, прежде всего на выходах к Мировому океану, а также развитие Северного морского пути, Арктической зоны.

Необходимость переоценки и специфика регионального взгляда наглядно просматриваются на примере двух специальных административных районов (САР) на о-ве Русском на Дальнем Востоке и на о-ве Октябрьском в Калининграде, созданных на основании Федерального закона 291-ФЗ от 3 августа 2018 г. "О специальных административных районах на территориях Калининградской области и Приморского края". Если для первого существенных изменений в 2021–2022 гг. во внешней среде не произошло, то для второго транспортная логистика и логистика международной производственной кооперации поменялась коренным образом.

Общую характеристику условий хозяйствования для российских участников рынка можно охарактеризовать одной фразой: многофазный шторм – по климату, Covid-19, многосторонней экономической, финансовой, информационной,

технологической, ресурсной блокаде России. Поэтому вопросы инновационно-инвестиционных процессов рассматриваются в данной работе в контексте бифуркации глобальной технологической, информационной и социально-экономической системы. В условиях быстрого развития информационных технологий и ускоренной цифровизации экономики динамика противостояния западных стран в отношении России характеризуется существенным ускорением и интенсификацией процессов негативного воздействия, причем результат такого взаимодействия отражается и на экономике самих противодействующих стран Европы и Северной Америки. Так как внешняя политика любой страны тесным образом связана с внутренней политикой, то, неизбежно, сложившаяся ситуация будет сказываться на региональной политике, а для анклавного региона, имеющего выход в Мировой океан, каким является Калининградская область, региональная экономическая политика будет определяться стратегическими планами государства.

## **2. Роль команды в инновационном развитии региона Российской Федерации**

Значительный импульс развития, который получила Калининградская область в последние годы, связан с приходом новой молодой команды технократов во главе с А. А. Алихановым, окончательный костяк которой сформировался к 19 декабря 2017 г. в своем Послании Калининградской областной думе губернатор представил план развития на пятилетку 2018–2022 гг. и основные принципы работы своей команды – своеобразный кодекс, которым будет руководствоваться новое правительство региона. В качестве первых трех принципов были сформулированы: приоритет командной работы с выстраиванием эффективной системы коммуникаций с жителями региона; принцип ответственности, развития человеческого капитала; нетерпимость к коррупции с максимумом "одна взятка = один реальный срок", к любым проявлениям несправедливости в действиях чиновников в отношении населения. Далее в качестве принципов постулировалась абсолютная диктатура эффективности и качества, незыблемая ценность патриотического чувства большой страны с ее богатой историей, диктатура закона – одни правила для всех и, наконец, последний, седьмой, принцип – улучшение качества жизни населения – все для людей.

Следует отметить фундаментальность подхода команды к приоритету развития человеческого капитала, охватывающего все возрасты и слои населения Калининградской области. Правительством региона было введено официальное понятие "детский бюджет" с широким спектром адресных социальных выплат семьям с детьми. Начал осуществляться системный подход к организации качественного конвергентного образования, начиная с детей дошкольного возраста (3–7 лет), школьников и студентов (на примере БФУ им. И. Канта), к вопросам дополнительного профессионального образования и переподготовке кадров. Особое внимание стало уделяться новым моделям выявления, поддержки и сопровождения общего развития и образования детей в виде центров развития одаренных детей, ресурсных центров, детских технопарков – кванториумов и т. д.

Первый проект регионального кванториума, включающего в себя мобильные кванториумы, разработан в КГТУ в 2016 г., получил поддержку Е. Н. Зиничева, исполнявшего в то время обязанности губернатора Калининградской области, и был организован в БФУ им. И. Канта в 2017 г. ввиду отсутствия средств у КГТУ

на подготовку помещений, удовлетворяющих условиям кванториумов. Затем начали интенсивно развиваться инструменты WorldSkills, Центры компетенций, университетские точки кипения (УТК). Первая и пока единственная УТК в регионе заработала в полную силу в КГТУ в 2020 г. За 2020–2021 гг. она обеспечила научно-методическое и технологическое сопровождение технико-технологического творчества свыше 3000 молодых инноваторов региона. В деятельности УТК широко используются различные форматы работы в виде рабочих семинаров, интенсивов, хакатонов, мастер-классов по направлениям НТИ, цифровой экономики и цифровых технологий, проектных курсов для соискателей грантов по программам "УМНИК" и "Старт" Фонда содействия инновациям. В октябре 2021 г. вся работа Международной конференции "Инновационное предпринимательство: цифровая экспансия" проводилась в онлайн-режиме на площадке УТК КГТУ с подключением участников из других городов России и ближнего зарубежья на оригинальной платформе nbics.net, разработанной в технопарке КГТУ.

Следует подчеркнуть широкий контекст социально-экономического развития, реализуемый Правительством Калининградской области, в котором, наряду с крупными проектами новых производств, присутствуют масштабные инфраструктурные проекты по дорожному строительству и совершенствованию городской инфраструктуры, социальные проекты в виде филиалов Большого театра и Третьяковской галереи, балетного училища, музея изобразительных искусств, крупных спортивных сооружений (физкультурно-оздоровительный комплекс в поселке имени Космодемьянского и др.).

Как уже отмечалось, с момента распада СССР географическая оторванность Калининградской области от остальных регионов России и специфическая транспортная, пограничная и таможенная логистика приводят к дополнительным издержкам участников рынка и снижению их конкурентоспособности [3]. Для выживания и успешного развития в таких условиях Распоряжением Председателя Верховного Совета РСФСР от 3 июня 1991 г. "О хозяйственно-правовом статусе свободной экономической зоны в Калининградской области" была создана СЭЗ, подкрепленная чуть позже, 25 сентября 1991 г., Постановлением Совета Министров РСФСР № 497. Затем она поменяла название на "особую экономическую зону" (ОЭЗ). Ее правовой режим определяется в настоящее время Федеральным законом от 10 января 2006 г. № 16-ФЗ со сроком действия до 31 декабря 2045 г. В соответствии с этим законом в ОЭЗ включены территория Калининградской области, примыкающие внутренние морские воды и территориальное море России, в пределах которых действует специальный правовой режим деятельности и таможенная процедура свободной таможенной зоны. В связи с высокой динамикой экономических и политических процессов в европейском окружении региональный менеджмент уделяет большое внимание совершенствованию правовых вопросов организации деятельности участников регионального рынка путем подготовки и представления в органы федеральной власти законодательных инициатив, реализация которых способствует росту эффективности региональной экономики и повышению качества жизни населения.

3 августа 2018 г. Президентом России был подписан Федеральный закон № 291 "О специальных административных районах на территориях Калининградской области и Приморского края", в соответствии с которым специальным административным районом (САР) стал о-в Октябрьский в Калининграде. Участники

САР, помимо права получения земельных участков и строительства объектов инфраструктуры, имеют ряд льгот и преференций по налогам и финансовым операциям (см. <https://www.russiasar.com/#rec180467934>), иностранные компании – особые условия ведения хозяйственной деятельности, возможность создания международных фондов. Со дня принятия закона по апрель 2022 г. инвестиции участников САР составили 54,8 млрд руб., объем налогов – 3,842 млрд, из которых 1,478 млрд руб. поступил в консолидированный бюджет региона.

К маю 2022 г. единый реестр резидентов (ЕРР) ОЭЗ включал 280 находящихся в работе инвестпроектов. Проектный объем планируемых инвестиций только в первые три года составляет около 160 млрд руб. при проектной численности новых рабочих мест свыше 50 тыс. Динамику развития ОЭЗ, несмотря на влияние пандемии Covid-19, характеризует тот факт, что в 2021 г. в ЕРР ОЭЗ включены 43 новых инвестиционных проекта на сумму 26,8 млрд руб. на первые три года реализации с числом новых рабочих мест на 9050 человек, из которых 8675 (96 %) представляют собой новые рабочие места [6]. Реестр участников САР на 1 апреля 2022 г. составлял 75 компаний, а к концу месяца – уже 84. Высокая динамика привлечения инвестиций и развития экономики Калининградской области в значительной степени связана с командной работой правительства региона и стратегией выбора основных направлений приложения инвестиций. Она становится понятной, если вспомнить, что губернатор области А. А. Алиханов с 2013 г. работал директором департамента государственного регулирования ВЭД Минпромторга России, был членом подкомитета по торговой политике Консультативного совета по торговле при Коллегии ЕАЭК, в сентябре 2015 г. стал заместителем председателя Правительства Калининградской области, через три месяца возглавил администрацию ОЭЗ, с 6 октября 2016 г. был назначен губернатором. Обладая знаниями и опытом работы в области экономики и юриспруденции, имея по ним профильное высшее образование, он сумел собрать и организовать молодую амбициозную команду технократов, со многими из которых пересекался по работе в Минпромторговли РФ и в структурах ЕАЭК. В результате сформировался новый взгляд, принципы командной работы, выбор ключевых направлений приложения инвестиций, задействовались новые возможности, методы и инструменты развития Калининградской области, получаются интересные результаты, не включающие нереализованные возможности.

### **3. Основные концепты и механизмы развития экономики Калининградской области**

Развитие экономики Калининградской области команда А. А. Алиханова построила на интенсивной инвестиционной политике, направленной на реализацию крупных инновационных проектов, сбалансированности территориального развития области, образовательных, инфраструктурных, промышленных, сельскохозяйственных и социальных проектов, основанных на следующих основных концептах и механизмах:

- первоочередное внимание и системный подход к развитию человеческого капитала;
- сбалансированное пространственное планирование, развитие восточных территорий Калининградской области (программа "Восток" и др.);

- особое внимание к развитию общей инфраструктуры и крупным социальным проектам;
- обеспечение энергетической и продовольственной безопасности российского анклава;
- активное развитие инфраструктуры туризма с формированием уникального имиджа региона;
- преференции Особой экономической зоны;
- привлекательные для компаний условия САР на о-ве Октябрьском в Калининграде;
- федеральные субсидии на поддержку рынка труда;
- формирование индустриальных парков и технопарков;
- действенное и всестороннее содействие всем перспективным инвестиционным проектам.

Большим стимулом для инвесторов стала политика развития крупных социальных инфраструктурных проектов. Развитая социальная и общая инфраструктура, богатая событиями общественная жизнь делают регион весьма привлекательным с точки зрения выбора постоянного места жительства. Поэтому, несмотря на естественную убыль населения (смертность регулярно превышает рождаемость), его численность в области имеет устойчивую тенденцию роста за счет мигрантов, в последние 10 лет рост составляет в среднем 0,74 % ежегодно. На рис. 1 использованы данные Росстата.

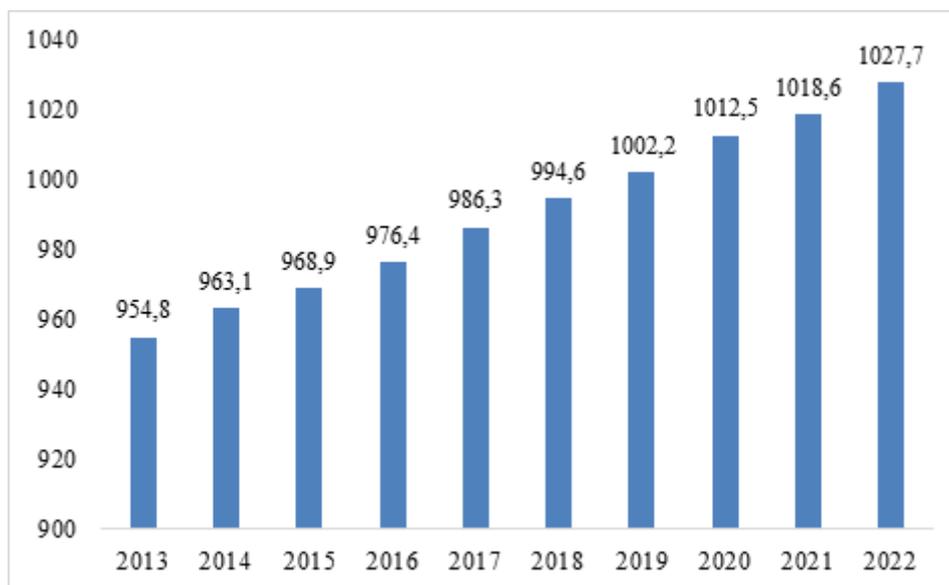


Рис. 1. Динамика роста численности населения (тысяч человек)  
Калининградской области,

Fig. 1. Population growth dynamics in the Kaliningrad region (thousand people)

Вследствие специфических условий формирования населения с момента организации Калининградской области и до последних лет структура населения представляет собой сложный конгломерат представителей множества наций и национальностей, специалистов различных профессий и возможностей. Их объ-

единяет одна общая черта – высокая инициатива к новой деятельности, генетически в них заложенная первыми переселенцами [7] и пополняемая сегодня такими же инициативными мигрантами. Результатом ответа на вызовы миграционных потоков стали итоги строительной индустрии: в 2021 г. в регионе введено в эксплуатацию около 1,3 млн кв. м жилья, что на 36 % выше установленного Национальным проектом России.

Реализация сбалансированной промышленной, социальной и инфраструктурной политики обеспечила Калининградской области в 2021 г. 8-е место в мире среди таких экономических образований. Этот успех становится понятным, если сравнить темпы развития и масштабы проектов в 2006–2017 и 2018–2021 гг., скорость роста числа инвестпроектов за последние годы утроилась. Только за 2021 г. в ЕРР ОЭЗ включено 43 инвестпроекта с заявленным объемом 9000 новых рабочих мест на предприятиях и объемом инвестиций 27 млрд руб. Следует отметить, что за последние пять лет, с 2017 по 2021 г., доля инвестиций в обрабатывающие производства выросла с 3 до 17 %, составив только за 2021 г. почти 11 млрд руб.

В этой связи следует отметить один момент, не учитываемый официальной статистикой и упускаемый командой губернатора Калининградской области: моряки, работающие на иностранных судах, фактически представляют услуги на экспорт. Поэтому оценка их вклада в экономику Калининградской области определяется объемом предоставляемых услуг российскими моряками в качестве физических лиц [8] в своеобразной "Свободной экономической зоне: работа на море". По данным специализированных сайтов по привлечению на работу моряков (см., например, <https://maritime-zone.com/en>) на 29.05.2022 второму инженеру предлагается месячный оклад: на контейнеровозах \$6400, 6850 – на судах, перевозящих генеральные грузы, 7200–7300 – на балкерах, 7400–7800 – для грузов "ро-ро". КГТУ ежегодно выпускает порядка 200 специалистов по промышленному рыболовству, судоводителей и судомехаников, КМРК – 380, Центр морской профессиональной подготовки БГАРФ обеспечивает переподготовку до 1500–1600 моряков.

Условно принимая за среднюю зарплату российского моряка \$ 2000–700 в месяц, среднюю загрузенность в году 7–8 мес. и численность работающих на иностранных судах моряков Калининградской области 10 000 человек, получаем средний годовой доход:  $4500 \times 7,5 \times 10\,000 = \$337,5$  млн/год, или в рублях 24,9 млрд руб. из расчета среднего курса доллара в 2021 г. 73.6546 руб./1\$. Такова оценка не учитываемого официальной статистикой вклада калининградских моряков, работающих на иностранных судах, в экономику Калининградской области. Следует отметить снижение в последние годы числа россиян, работающих на иностранных судах, поэтому подготовка и переподготовка, повышение квалификации дипломированных моряков имеют большое значение для экономики Калининградской области.

Второй момент – недостаточно эффективная инновационная политика правительства региона в отношении малых инновационных предприятий (МИП) и цифровизации экономики и управления. В качестве примера можно привести не реализованные до сих пор ситуационные центры (СЦ), включая СЦ "Губернатор", слабое применение в системе государственного и муниципального управления, управления производствами и организациями искусственного интеллекта (ИИ).

Отметим, СЦ и ИИ широко и успешно используются в управлении и прогнозировании социально-экономических процессов, оценке рисков, оптимизации транспортно-логистических схем, необходимых в условиях турбулентной экономики [9,14,16–18].

#### 4. Динамика инвестиций и ВРП Калининградской области

На рис. 2 представлена динамика инвестиций за последние 7 лет в разрезе частных инвестиций крупных и средних предприятий, инвестиций за счет бюджетных средств, корпораций и естественных монополий и суммарный объем инвестиций из всех источников финансирования, не считая малые предприятия и фермерские хозяйства. Малый бизнес Калининградской области, в котором задействованы свыше 220 тыс. чел., формирует примерно треть региональной экономики [9]. Следствием успешной инвестиционной политики стал рост валовой региональной продукции, превышающей темпы роста ВВП России в среднем на 4 % в год (рис. 3), несмотря на то, что пандемия Covid-19 поставила экономику Калининградской области в более жесткие условия по сравнению с другими территориями России.

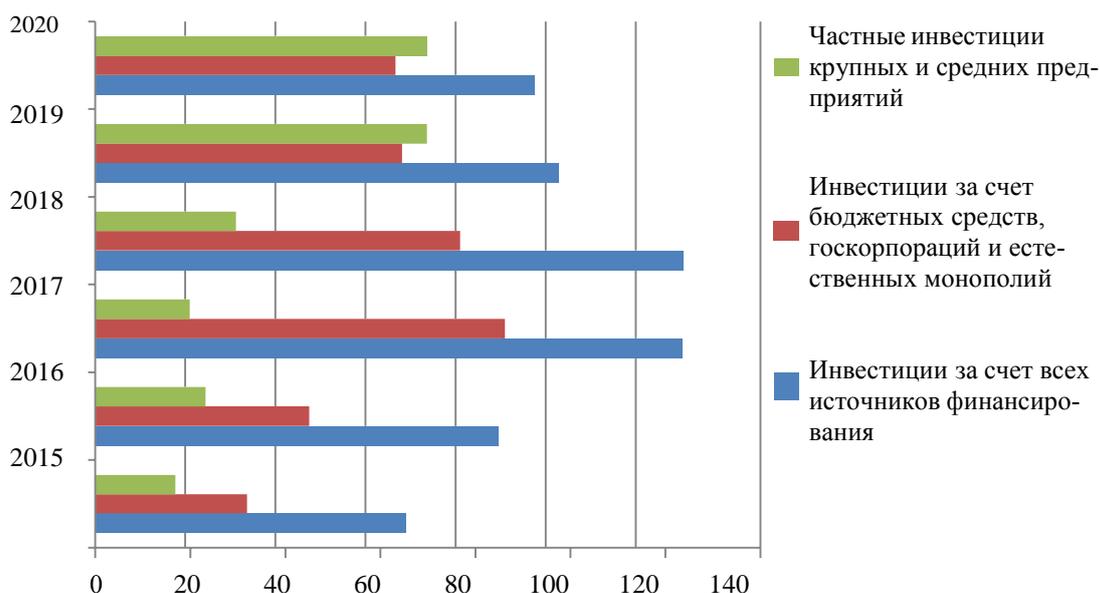


Рис. 2. Инвестиции в основной капитал, млрд руб.

Fig. 2. Capital investments, billion rubles

Примечание. Данные взяты из ежегодных Посланий Губернатора Калининградской области.

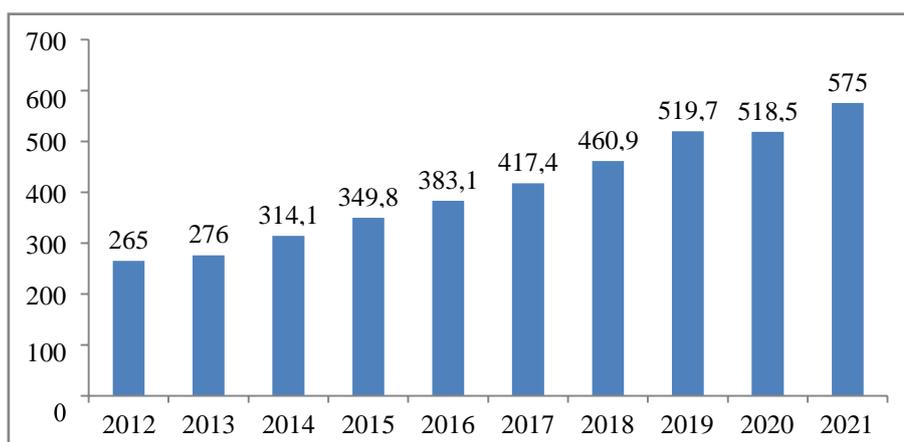


Рис. 3. Рост ВРП Калининградской области за последние 10 лет, в млрд руб.  
Fig. 3. Gross regional product growth in the Kaliningrad region over the past 10 years, in billion rubles

Примечание. Данные приведены в текущих ценах, источник: Росстат.

В результате изменений, внесенных в Налоговый кодекс Российской Федерации в течение последних лет, продлены сроки применения сниженных тарифов страховых взносов с 30 до 7,6 % резидентами ОЭЗ до 10 лет, отсутствуют налоги на прибыль и имущество в первые 6 лет работы резидентов; в период с 6 по 12 лет они составляют 10 и 1,1 % соответственно, сроки проведения экологической экспертизы и госэкспертизы проектной документации сокращены до 45 дней. При осуществлении международной деятельности пошлины и ввозной НДС на любые товары, комплектующие изделия и сырье не взимается, имеются ряд других льгот, включая обнуление налога на прибыль для резидентов САР по доходам в виде дивидендов и от реализации акций иностранных компаний. Эти льготы создают серьезный стимул как для резидентов ОЭЗ и САР, так и для развития региональной экономики, причем ими могут пользоваться также резиденты, включенные в ЕРР после 01.01.2018 г. На рис. 4 показана картина динамики роста числа резидентов ОЭЗ в Калининградской области за последние пять лет.

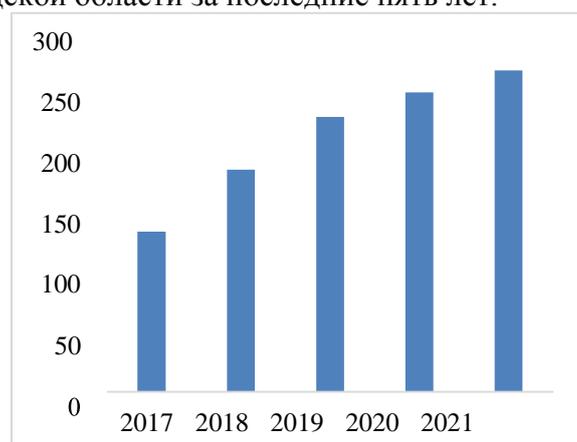


Рис. 4. Рост числа резидентов ОЭЗ по годам в Калининградской области  
Fig. 4. Year-wise growth in the number of the SEZ residents in the Kaliningrad region.  
Примечание. График построен по данным администрации ОЭЗ [10].

С 2018 г. правительство Калининградской области начало процесс объединения всех инструментов и механизмов поддержки бизнеса в один общий контур регионального центра "Мой бизнес". За короткий срок в него вошли многие тысячи представителей МСП, фермерских хозяйств и ИП с широким спектром востребованных услуг. К ним относятся профессиональная переподготовка и повышение квалификации, организация непрерывного образования в течение всей жизни, подбор проектной команды, повышение производительности труда на предприятии, подготовка проектной документации, выбор кредитной организации и условий получения кредита, субсидий и т. д.

Особое место в развитии Калининградской области занимает программа "Восток", нацеленная на закрепление населения в центральных и восточных муниципалитетах, которые отставали в своем развитии от калининградской конгломерации. В рамках этой программы предусмотрена поддержка производственных предприятий и формирование комфортной городской среды путем льготного финансирования проектов стоимостью до 50 млн руб. сроком на 7 лет под 1 % годовых, а для сельхозпредприятий – под такой же процент сроком на 10 лет. В 2021 г. по программе "Восток" из бюджета Калининградской области профинансировано 28 проектов на общую сумму в 730 млн руб. В результате организации селективного выбора и системно организованной поддержки перспективных инновационно-инвестиционных проектов и механизмов их реализации Калининградская область в 2020 г. стала победителем международного рейтинга Free Zones of the Year в трех номинациях: новые инвестиции, логистика и программа релаксации. Область вошла в ТОП-3 рейтинга регионов по вовлеченности населения в малый бизнес, в ТОП-5 рейтинга Агентства РИА по числу созданных рабочих мест и вводу жилья среди регионов, ТОП-10 по демографии в рейтинге регионов. В 2021 г. регион занял первые места в рейтинге растущих мировых направлений в туризме и рейтинге National Geographic Traveler Awards в номинации "Лучший российский экологический отдых". Следует отметить также 2-е место в России по соотношению "Цена–качество" товаров и услуг (версия портала [www.trivago.ru](http://www.trivago.ru)), вхождение в ТОП-5 популярных областей России по версии Ростуризма для поездок на летние выходные и в ТОП-10 рейтинга Агентства РИА по качеству жизни и демографии в российских регионах.

Результаты могли бы быть еще выше, если бы не постоянная политизация западными странами экономических отношений с Россией, которая четко проглядывается на примерах строительства Балтийской АЭС, ответвления газопровода "Северный поток" на Калининградскую область, глубоководного порта и ряда других крупных проектов. Искусственные ограничения, вводимые ими, приносят не только экономические потери сторонам, но и сказываются на качестве жизни населения, состоянии окружающей среды, причем потери соседних стран ЕС соизмеримы, а иногда выше потерь Калининградской области, хотя логика и алгоритм рассмотрения проблем и принятия решений постоянно наталкивают на целесообразность медиативного подхода к решению вопросов устойчивого развития на благо всех сторон, о чем свидетельствует политика администрации Калининградской области.

## 5. Государственно-частное партнерство

Развитые страны уже более полувека работают в рамках инновационной модели развития. В частности, производственный сектор США, составляющий всего 10 % ВВП страны и рабочих мест, обеспечивает 20 % капиталовложений страны, 35 – роста производительности, 60 – экспорта и 70 % расходов на НИОКР [11]. Организация НИОКР в развитых странах представляет собой самоподдерживающийся процесс (рис. 5). Инновационный цикл создания новой продукции можно разделить условно на 7 этапов, на протяжении которых государство является партнером инновационного предпринимательства в различных ипостасях. В России государство представляет бизнесу различного рода ресурсы, от финансовых на начальном этапе генерации новых знаний и технологий и до преференций на этапах внедрения новых технологий и выхода с инновационной продукцией на рынки. При выходе на зарубежные рынки государство оказывает содействие в участии в международных выставках и инновационных форумах, софинансируя поездки и беря на себя часть трат, связанных с подготовкой и участием в выставках и рекламных кампаниях.

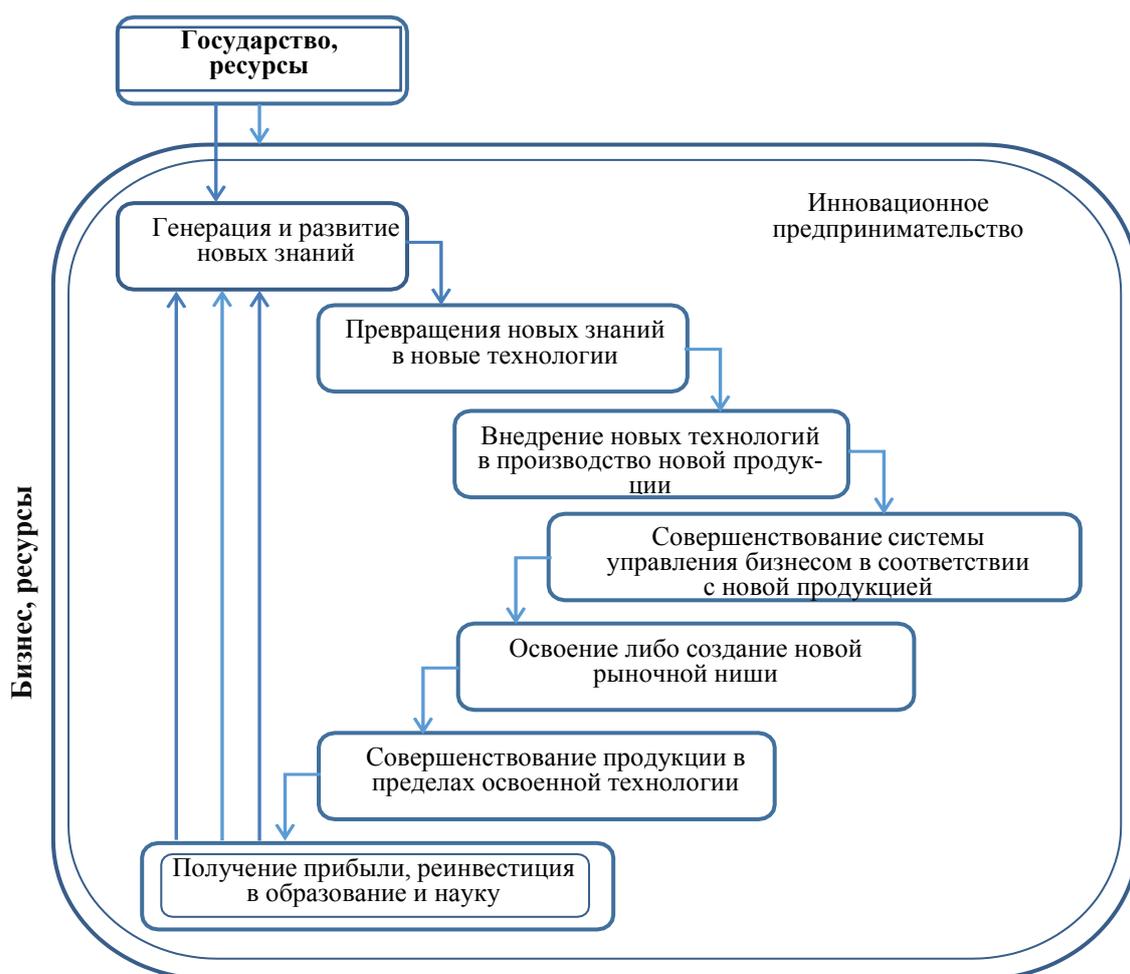


Рис. 5. Самоподдерживающийся процесс создания новой продукции  
Fig. 5. Self-maintaining process of new products creation

В результате организуется самоподдерживающийся процесс "наука–знания–инновации–новая продукция–прибыль–наука–знания", в котором инвестиции бизнеса должны играть превалирующую роль по сравнению с объемами государственных заказов на НИОКР и создание новой техники и технологий. Сравнивая организацию НИОКР и инновационного процесса в целом в России и развитых странах Запада, следует отметить: если в ведущих развитых странах соотношение долей софинансирования новых разработок бизнесом и государством составляет 2:1 [12], то в России это соотношение имеет обратный характер – 1:2. Аналогичное соотношение участия государства и бизнеса в целевой подготовке профессиональных кадров для отраслей экономики Калининградской области выглядит еще хуже. Региональный бизнес, несмотря на значительные успехи в своем развитии при поддержке государства, практически не участвует в целевой подготовке кадров, перекладывая эту задачу на государство. Схема самоподдерживающегося процесса создания новой продукции, начиная от идеи до организации массового производства в России и развитых странах, имеет два существенных отличия. По сравнению с зарубежной практикой развития инновационных процессов в России слабо развит краудфандинг, смысловой перевод которого на русский язык звучит как "сбор средств", коллективное финансирование на добровольных началах инновационного проекта, начиная с идеи. Он может быть в виде материальной помощи физического или юридического лица (донора инноватору-реципиенту) в реализации идеи либо в виде софинансирования венчурного проекта, зачастую с недостаточно прогнозируемым конечным результатом и без обязательств возврата инвестиций донору. Очень часто донору не столь важна материальная отдача от его вклада, как сам факт соучастия в интересном проекте, который может стать не просто успешным бизнес-проектом, но и ярким событием в жизни страны, общества. Отличительной чертой успешного краудфандинга является объективная поддержка обществом инновационной идеи, просчитанные риски: реализуемость идеи–ресурсы–время–результат; четкая нацеленность на конечный результат, полная открытость и целевое использование собранных инноватором-реципиентом средств на реализацию идеи или уже готового проекта. После бурных 90-х годов "бандитского капитализма" российский бизнес только начинает переходить в инновационное доверительное предпринимательство, становиться на ноги, вследствие чего краудфандинг в стране слабо развит и полностью отсутствует в Калининградской области. Между тем, будущее за ним.

Вторым существенным отличием процесса создания новой продукции является отсутствие центров прототипирования. Между 2-м этапом этого процесса – "Превращения новых знаний в новые технологии" – и 3-м – "Внедрение новых технологий в производство новой продукции" – (рис. 5) располагается важный участок – прототипирование. Отечественный бизнес сегодня не только в большинстве своем не участвует в НИОКР, но и не готов вкладывать в новую технику и технологии, пока не увидит их в осязаемом рабочем виде, а не в виде технической документации или макета. Поэтому имеется разрыв между НИОКР и постановкой продукции на производство, который может быть ликвидирован созданием успешного прототипа изделия либо технологии. Однако если даже разработчик новой продукции сможет найти финансирование изготовления прототипа, возникает сложность с самим изготовлением, так как крупные предприятия не берутся за такие "мелкие" заказы, а небольшие – не располагают необходимым парком

станков и оборудования. Поэтому в каждом регионе необходимо создавать Центр прототипирования. Минобрнауки сложно создавать такие центры в силу отсутствия опыта и необходимых компетенций, различающихся направлений развития региональных экономик. Такие центры прототипирования, по убеждению авторов, необходимо создавать при государственных технических университетах с участием системообразующих предприятий в регионах под патронажем регионального правительства. Этот вопрос не получил достаточно глубокой проработки в правительстве Калининградской области, а инициативы КГТУ в этом направлении по непонятным причинам не были достаточно поддержаны, хотя Центры прототипирования являются необходимым инструментом реализации успешной инновационно-инвестиционной политики развития экономики Калининградской области в новых условиях, развития малых инновационных предприятий (МИП).

Отличительной особенностью инновационного процесса в последнее десятилетие является быстрая цифровизация производства, рождающая новые технологии инженерного мышления, а в отраслях экономики и управления, крупных акторах региональной и национальной экономики – новые технологии управления, основанные на ситуативном анализе и прогнозировании с использованием цифровых инструментов [13–18]. Поэтому, обращая внимание на важность создания в регионе Центра прототипирования, следует отметить перспективы применения всей палитры цифровых технологий, на которые обращается недостаточное внимание правительством и бизнес-сообществом региона. Использование ЦТ может существенно сократить и облегчить вопросы прототипирования новой техники и технологий. Отметим, при их использовании важна математическая модель технического изделия или технологического процесса, процесса управления, адекватность которой реальному объекту или процессу в конечном итоге определяет возможность, полезность и степень эффективности применения ЦТ. Поэтому, наряду с усилением системы подготовки инженерно-технического персонала для современных предприятий, важную роль играет подготовка математиков и IT-специалистов в университетах технического профиля. В идеале такое обучение представляется в виде подготовки комплексных курсовых работ и дипломных проектов на старших курсах, включающих математические, технологические и цифровые компоненты, защищаемые отдельными студентами и представляющие собой в совокупности готовые стартапы по заявкам бизнес-структур. Роль математического моделирования в управлении отраслями экономики регионов и регионами в целом с использованием цифровых двойников представляет собой исключительно важное направление с точки зрения создания новых методов прогнозирования процессов социально-экономического развития в условиях турбулентной внешней и внутренней среды, обеспечения высокой эффективности инновационно-инвестиционной политики в новых условиях развития экономики. Правительство Калининградской области этим инструментом пока не владеет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тотальная экономическая война, объявленная Западом нашей стране, затронула все стороны экономики, заставляя Россию переходить на ускоренное развитие своего человеческого потенциала, повышение самодостаточности нацио-

нальной экономики, развитие технологической независимости, включая цифровую, информационную. Меняются сети глобальных стоимостных звеньев, идет гигантская переориентация с Запада на Восток, в Азию, не только основных, бюджетобразующих секторов национальной экономики, но и большинства высокотехнологичных производств, работавших многие годы в кооперации с зарубежными партнерами. Это – большие, ранее не встречавшиеся вызовы экономике России [19,20], транспортной логистике, переориентации множества производств на новых смежников.

В этой связи резко возрастает роль цифровых технологий в управлении производствами, корпорациями, регионами, ускоряется формирование платформенной экономики [14,16,17,21], создающее основу для новых методов прогнозирования процессов в организационно-технических системах на местном, региональном и национальном уровнях в условиях турбулентной внешней и внутренней среды. Лидерство в развитии цифровой экономики, способной обеспечить высокую эффективность инновационно-инвестиционных процессов, переходит к азиатским странам, ставящих целью тотальную цифровизацию и применение ИИ, включая уровень государства. Меры по цифровизации региональной экономики, принимаемые руководством Калининградской области, явно недостаточны. Не разработаны цифровые инструменты социально-экономического прогнозирования и ситуативного управления, что может сказаться на эффективности управления региональной экономикой и темпах его развития уже к концу этого года. Первые месяцы, проведенные Калининградской областью в условиях экономической блокады, по состоянию на 1 июня 2022 г. показали высокую устойчивость региональной экономики к внешнему воздействию. Однако в связи с усложнением транспортной логистики, разрывом многих производственных связей предприятий региона с зарубежными партнерами и необходимостью определенного времени для налаживания новых связей ситуация без применения ИИ слабо прогнозируема.

Стратегические принципы развития человеческого капитала, интенсивная инвестиционная политика, сбалансированность территориального развития области, акцент на развитие крупных гармонично сочетающихся инновационных проектов в направлениях организации непрерывного образования, инфраструктурных, промышленных, сельскохозяйственных и социальных проектов обеспечили устойчивое развитие российского региона в условиях анклавности. Этому способствовали эффективные механизмы и инструменты реализации планов развития, включая привлекательные условия хозяйствования ОЭЗ Калининградской области и САР на о-ве Октябрьском в Калининграде, действенная помощь правительства в реализации крупных инвестиционных проектов. Важную роль сыграли принятые меры по обеспечению энергетической и продовольственной безопасности российского анклава, формирующие вместе с привлекательными условиями хозяйствования резидентов ОЭЗ и участников САР благоприятный имидж Калининградской области как территории устойчивого динамичного развития. Теперь стоит задача сохранения этого развития области в условиях надвигающегося производственного, технологического и экономического шторма. Необходим ускоренный переход к инноватике и цифровым технологиям в производстве, СЦ и ИИ в управлении, а также развитие МИП и центров прототипирования.

### Список источников

1. Караганов С. А. От конструктивного разрушения к собиранию // Россия в глобальной политике. 2022. Т. 20. № 2. С. 52–69. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-2-52-69.
2. WEF. Chief Economists Outlook: May 2022. Centre for the Economy and Society. 24 p.
3. Zhdanov V., Kuznetsova O., Mau V., Plyukhin V., Prikhodko S., Wojciechowski M. J., Hecht A. Problems Related to Development of the Kaliningrad Region as an Exclave Territory of the Russian Federation. Moscow, 2002, 250 p. URL: <https://www.iepr.ru/files/text/cepra/kaliningrad-eng.pdf> (дата обращения: 02.06.2022).
4. Материалы Администрации Особой экономической зоны в Калининградской области. URL: <https://gov39.ru> (дата обращения: 02.06.2022).
5. Тренин Д. В. Кто мы, где мы, за что мы – и почему // Россия в глобальной политике. 2022. Т. 20. № 3. С. 32–42. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-3-32-42.
6. Алиханов А. А. Отчет о работе правительства Калининградской области. 29 апреля 2022. URL: <https://gov39.ru/press/311218/> (дата обращения: 02.06.2022).
7. Kostrikova N. A., Ogiy O. G., Yafasov A. Ya. Metamorphoses of the territorial community through the prism of the theory of generations. International conference Germany and Russia: Ecosystems without borders IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 689 (2021) 012007. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/689/1/012007.
8. Волкогон В. А., Кострикова Н. А., Яфасов А. Я. Морские предпринимательские университеты в морской экономике России в новых условиях // Морские интеллектуальные технологии. 2017. Т. 38. № 4. С. 142–151.
9. Яфасов А. Я., Костенко Л. В. Проблемы цифровой экспансии и гуманизации инновационного предпринимательства // IX Международный Балтийский морской форум (4–9 октября 2021 г.). VII Международная конференция "Инновационное предпринимательство 2021: Цифровая экспансия": материалы, Калининград, 2021. Т. 6. С. 219–228.
10. Калининградская область. Условия для ведения бизнеса. URL: <https://oez.gov39.ru/upload/iblock/991/itn6sth77udu0hu2yozh3v25vqil12y3/Obshchaya-prezentatsiya-2021new.pdf/> (дата обращения: 02.06.2022).
11. WEF. Asutosh Padhi. Want to drive inclusive economic growth? Start with manufacturing 2 Jan 2022, McKinsey & Company. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/inclusive-economic-growth-manufacturing> (дата обращения: 02.06.2022).
12. WIPO (2021). Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. Geneva: World Intellectual Property Organization. 226 p. ISBN 978-92-805-3249-4. DOI: 10.34667/tind.44315.
13. Diamandis P. H., Kotler S. The future is faster than you think: how converging technologies are transforming business, industries, and our lives. Description: New York: Simon & Schuster, 2020. ISBN 978-1-9821-0968-4 (ebook).
14. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продук-

ции нового поколения // Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии. МШУ "Сколково". 2018. С. 24–44.

15. Simulation Modelling Application for Balancing Epidemic and Economic Crisis in the Region / A. I. Borovkov, M. V. Bolsunovskaya, A. M. Gintciak, T. Ju. Kudryavtse-va // International Journal of Technology. 2020. Vol. 11, No 8. P. 1579–1588.

16. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад: сентябрь 2019 / А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов. Санкт-Петербург: Политех-пресс. 2019. 62 с.

17. Gnatyuk, V. I. Mathematical model of parametric virtualization of technocenosis data / Viktor I. Gnatyuk, Oleg R. Kivchun, Sergey A. Dorofeev, Elena V. Bovtrikova // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021). Moscow: Russia. 2021. P. 90–99.

18. A Universal Model of a Subject Area for Situational Centers / F. G. Maitakov, A. A. Merkulov, E. V. Petrenko, A. Ya. Yafasov // Communications in Computer and Information Science. 2019. T. 947. С. 415–423. EGOSE 2018: Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia Conference pap.

19. Смородинская Н. В., Катуков Д. Д. Влияние глобальных стоимостных цепочек на национальные экономические системы и вызовы для российской экономической политики // Общественные науки и современность. 2017. № 4. С. 27–33. URL: <https://ons-journal.ru/S086904990011497-8-1> (дата обращения: 02.06.2022).

20. Смородинская Н. В., Малыгин В. Е., Катуков Д. Д. Сетевое устройство глобальных стоимостных цепочек и специфика участия национальных экономик // Общественные науки и современность. 2017. № 3. С. 55–68. URL: <https://ons-journal.ru/S086904990011524-8-1> (дата обращения: 02.06.2022).

21. Cusumano M. A., Gawer A., Yoffie D. B. The Business of Platforms: Strategy in the Age of Digital Competition, Innovation, and Power. Publisher: Harper Business; Illustrated edition (May 7, 2019), 309 p.

## References

1. Karaganov S. A. Ot konstruktivnogo razrusheniya k sobiraniyu [From constructive destruction to gathering]. *Rossiya v global'noy politike*, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 52–69. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-2-52-69.

2. WEF. Chief Economists Outlook: May 2022. Centre for the Economy and Society. 24 p.

3. Zhdanov V., Kuznetsova O., Mau V., Plyukhin V., Prikhodko S., Wojciechowski M. J., Hecht A. Problems Related to Development of the Kaliningrad Region as an Exclave Territory of the Russian Federation. Moscow, 2002, 250 p. Available at: <https://www.iep.ru/files/text/cepra/kaliningrad-eng.pdf> (Accessed 06 June 2022).

4. Materialy Administratsii Osoboy ekonomicheskoy zony v Kaliningradskoy oblasti. Available at: <https://gov39.ru> (Accessed 06 June 2022).

5. Trenin D. V. Kto my, gde my, za chto my – i pochemu [Who are we, where are we, what are we for – and why]. *Rossiya v global'noy politike*, 2022, vol. 20, no. 3, pp. 32–42. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-3-32-42.

6. Alikhanov A. A. Otchet o rabote pravitel'stva Kaliningradskoy oblasti. 29 aprelya 2022. Available at: <https://gov39.ru/press/311218/> (Accessed 06 Yune 2022).
7. Kostrikova N. A., Ogiy O. G., Yafasov A. Ya. Metamorphoses of the territorial community through the prism of the theory of generations. International conference Germany and Russia: Ecosystems without borders IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 689 (2021) 012007. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/689/1/012007.
8. Volkogon V. A., Kostrikova N. A., Yafasov A. Ya. Morskie predprinimatel'skie universitety v morskoy ekonomike Rossii v novykh usloviyakh [Maritime Entrepreneurial Universities in the maritime economy of Russia in new conditions]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, vol. 38, no. 4, pp. 142–151.
9. Yafasov A. Ya., Kostenko L. V. Problemy tsifrovoy ekspansii i gumanizatsii innovatsionnogo predprinimatel'stva [Problems of digital expansion and humanization of innovative entrepreneurship]. *Materialy VII Mezhdunarodnoy konferentsii "Innovatsionnoe predprinimatel'stvo 2021: Tsifrovaya ekspansiya" IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma (4-9 oktyabrya 2021 g.)* [Proceedings of the VII International Conference "Innovative Entrepreneurship 2021: Digital Expansion" of the IX International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2021, 4–9 October, vol. 6, pp. 219–228.
10. Kaliningradskaya oblast'. Usloviya dlya vedeniya biznesa. Available at: <https://oez.gov39.ru/upload/iblock/991/itn6sth77udu0hu2yozh3v25vqil12y3/Obshchaya-prezentatsiya-2021new.pdf/> (Accessed 06 Yune 2022).
11. WEF. Asutosh Padhi. Want to drive inclusive economic growth? Start with manufacturing 2 Jan 2022, McKinsey & Company. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/inclusive-economic-growth-manufacturing> (Accessed 06 Yune 2022).
12. WIPO (2021). Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. Geneva: World Intellectual Property Organization. 226 p. ISBN 978-92-805-3249-4. DOI: 10.34667/tind.44315.
13. Diamandis P. H., Kotler S. The future is faster than you think: how converging technologies are transforming business, industries, and our lives. Description: New York: Simon & Schuster, 2020. ISBN 978-1-9821-0968-4 (ebook).
14. Borovkov A. I., Ryabov Yu. A., Maruseva V. M. Novaya paradigma tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentnosposobnoy produktii novogo pokoleniya [A new paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of a new generation]. *Tsifrovoe proizvodstvo: metody, ekosistemy, tekhnologii*, MSHU "Skolkovo", 2018, pp. 24–44.
15. Borovkov A. I., Bolsunovskaya M. V., Gintciak A. M., Kudryavtseva T. Ju. Simulation Modelling Application for Balancing Epidemic and Economic Crisis in the Region. *International Journal of Technology*. 2020, vol. 11, no 8, pp. 1579–1588.
16. Borovkov A. I., Gamzikova A. A., Kukushkin K. V., Ryabov Yu. A. Tsifrovye dvoyniki v vysokotekhnologichniy promyshlennosti. *Kratkiy doklad: sentyabr' 2019*. Saint-Petersburg, Politekh-press, 2019, 62 p.
17. Gnatyuk V. I., Kivchun O. R., Dorofeev S. A., Bovtrikova E. V. Mathematical model of parametric virtualization of technocenosis data. *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021)*. Moscow, Russia, 2021, pp. 90–99.

18. Maitakov F. G., Merkulov A. A., Petrenko E. V., Yafasov A. Ya. A Universal Model of a Subject Area for Situational Centers. *Communications in Computer and Information Science*. 2019, vol. 947, pp. 415–423. EGOSE 2018: Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia Conference paper.

19. Smorodinskaya N. V., Katukov D. D. Vliyaniye global'nykh stoimostnykh tsepochek na natsional'nye ekonomicheskie systemy i vyzovy dlya rossiyskoy ekonomicheskoy politiki [Impact of Global Value Chains on National Economic Systems and Challenges for Russian Economic Policy]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost'*. 2017, no. 4, pp. 27–33. Available at: <https://ons-journal.ru/S086904990011497-8-1> (Accessed 06 Yune 2022).

20. Smorodinskaya N. V., Malygin V. E., Katukov D. D. Setevoe ustroystvo global'nykh stoimostnykh tsepochek i spetsifika uchastiya natsional'nykh ekonomik [Network structure of global value chains and features participation of national economies]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost'*. 2017, no. 3, pp. 55–68. Available at: <https://ons-journal.ru/S086904990011524-8-1> (Accessed 06 Yune 2022).

21. Cusumano M. A., Gawer A., Yoffie D. B. *The Business of Platforms: Strategy in the Age of Digital Competition, Innovation, and Power*. Publisher: Harper Business; Illustrated edition (May 7, 2019), 309 p.

#### **Информация об авторах**

**А. Я. Яфасов** – доктор технических наук, начальник управления инновационной деятельностью Калининградского государственного технического университета

**Л. В. Костенко** – ведущий специалист отдела интеллектуальной собственности Калининградского государственного технического университета

#### **Information about the author**

**A. Ya. Yafasov** – Doctor of Engineering, Head of Innovations of Kaliningrad State Technical University

**L. V. Kostenko** – Leading Specialist of the Intellectual Property Department of Kaliningrad State Technical University

Статья поступила в редакцию 10.07.2022; одобрена после рецензирования 14.07.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 10.07.2022; approved after reviewing 14.07.2022; accepted for publication 15.07.2022

## 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.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. 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.

### 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;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную в установленном порядке. Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе "Наука и инновации – Научные журналы – Известия КГТУ". Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

– **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**.

### 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; над другими частями справа пишут: "Продолжение таблицы", с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через "Таблица: Добавить таблицу"). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

**Рисунки**. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. 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 ( $\times$ ). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида  $\frac{a}{b}$  рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

**Химические символы** (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

**Единицы физических величин** следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

**Все аббревиатуры** в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

## Структура статьи

**ВВЕДЕНИЕ** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст.

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.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый), далее через один интервал текст

## 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).

*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  $t^{\circ}$  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, точка в конце не ставится).

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).

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, светлый, точка в конце не ставится).

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 цитиру-

емом 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).

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: *ě* → *yo*; *ŷ* → *y*; *x* → *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 с. – 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. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков 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. М.: Высшая школа, 1995. 347 с.
2. Правильное питание: справочник. М.: Эксмо, 2008. 704 с.
3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; СПб, 2007. 268 с.

### *Отдельный том многотомного издания под общим заголовком*

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. М.: 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. М.: 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. СПб.: 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](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. М., 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 . М., 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. М., 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. М.: 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. М., 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. М., 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 н/Д.: 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., Storablevtsev 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 ekologicheski chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

### Переводная книга

1. Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. Kolebaniya v inzhenernom 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<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

<sup>2</sup>Первый 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 Nr 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 Вольчик<sup>1</sup>, Игорь Михайлович Ширяев<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>1</sup>volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryaev@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 приводятся 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. Volchik<sup>1</sup>, Igor' M. Shiryayev<sup>2</sup> (транслитерация, см. п. 18 выше)

<sup>1,2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>1</sup>volchik@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryayev@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., Shiryayev 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., Shiryayev 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

*Редакторы: Г. А. Смирнова, 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 29.07.2022. Выход в свет 01.08.2022. Формат 60 x 88 (1/8)  
Печ. л. 26,5. Уч.-изд. л. 17,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 60.