

ISSN 2713-220X

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**2022 № 2 (Том 3)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

**2022 № 2 (Том 3)**

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>НАУКИ О ЗЕМЛЕ</b> <i>Алиев Р.М., Азизов Г.А.</i> Оценка естественно-го нагрева воды, закачиваемой в залежь по стволу нагнетательной скважины	3
<b>РАДИОТЕХНИКА, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА</b> <i>Нурмагомедов И.С.</i> Характеристическое число в комплексной модели представления знаний нечетких гипермножеств <i>Эфендиев К.А.</i> Особенности искрового разряда элегаза в режиме недонапряжения <i>Тепина М.С.</i> Технология производства кремния с использованием окомкования техногенных пылевых материалов	7 16 23
<b>ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ</b> <i>Алимирзоева З.М., Магомедов М.М., Исаев А.Б., Абакаров Г.М.</i> Электрохимическое окисление ампициллина на диоксиде свинца, осажденном на титановой пластине	30
<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ</b> <i>Глотов Н.В., Ламанова А.О., Кузнецов С.М.</i> Построение модели коэффициента использования карьерных экскаваторов во времени	38
<b>ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ</b> <i>Симоненкова А.П., Демина Е.Н.</i> Оптимизация режимов пастеризации молока-сырья, предназначенного для производства сыра <i>Сокол Н.В.</i> Разработка технологии получения пророщенного зерна пшеницы для обогащения хлебулочных изделий	43 50
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА</b> <i>Кругликова Е.В.</i> Исследование текстильных воздухопроводов с перфорацией для обеспечения вентиляции в культовых зданиях	56
Правила оформления и представления статей	61

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

**Редакционная коллегия:**

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)  
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)  
М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)  
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)  
А.Н. Мурашквич, д.т.н., профессор (Минск)  
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)  
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)  
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
И.И. Татарченко, д.т.н., профессор (Краснодар)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
Т.А. Хежев, д.т.н., профессор (Нальчик)  
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

Телефон: +7 (8722) 62 37 15

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

**ISSN 2713-220X**

**2022 № 2 (Vol. 3)**

**CONTENTS**

**EARTH SCIENCES**

*Aliiev R.M., Azizov G.A.* Estimation of natural heating of water injected into the reservoir through the injection wellbore

3

**RADIO ENGINEERING,  
MICRO- AND NANOELECTRONICS**

*Nurmagomedov I.S.* Characteristic number in a complex model of knowledge representation of fuzzy hypersets

7

*Efendiev K.A.* Features of the spark discharge of SF<sub>6</sub> gas in the undervoltage mode  
*Tepina M.S.* Silicon production technology using pelletization of technogenic dust materials

16

23

**CHEMICAL TECHNOLOGY**

*Alimirzoeva Z.M., Magomedov M.M., Isaev A.B., Abakarov G.M.* Electrochemical oxidation of ampicillin on lead dioxide deposited on a titanium plate

30

**MECHANICAL ENGINEERING**

*Glotov N.V., Lamanova A.O., Kuznetsov S.M.* Building a model of the utilization rate of mining excavators in time

38

**TECHNOLOGIES, PROCESSES AND  
DEVICES OF FOOD PRODUCTION**

*Simonenkova A.P., Demina E.N.* Optimization of pasteurization regimes for raw milk intended for cheese production

43

*Sokol N.V.* Development of a technology for obtaining germinated wheat grain for the enrichment of bakery products

50

**BUILDING CONSTRUCTION AND  
ARCHITECTURE**

*Kruglikova E.V.* Investigation of perforated textile air ducts for ventilation in places of worship

56

Rules for writing and submitting articles

61

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

**Editorial team:**

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)  
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)  
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
R.M. Aliiev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)  
M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
P.Yu. Bochkarev, Doctor of Science, Prof. (Saratov)  
R.V. Guseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)  
A.N. Murashkevich, Doctor of Science, Prof. (Minsk)  
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)  
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
A.R. Tagilaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
I.I. Tatarchenko, Doctor of Science, Prof. (Krasnodar)  
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
T.A. Khezhev, Doctor of Science, Prof. (Nalchik)  
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.

All materials received by the editors subject to review.

The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.

The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.

The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.

The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.

Tel.: +7 (8722) 62 37 15

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

**ISSN 2713-220X**

## ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОГО НАГРЕВА ВОДЫ, ЗАКАЧИВАЕМОЙ В ЗАЛЕЖЬ ПО СТВОЛУ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Р.М. Алиев, Г.А. Азизов

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединенного  
института высоких температур РАН, Махачкала  
367030, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 39а  
gsgms@mail.ru

**Аннотация.** В статье ориентировочно оценен нагрев воды по стволу скважины, указаны в общих чертах для больших глубин залегания залежи допустимые режимы нагнетания, обеспечивающие естественный подогрев воды до температуры кристаллизации парафина.

**Ключевые слова:** горная порода, залежь, приемистость, режим работы скважины, скважина.

**Abstract.** In the article, the heating of water along the wellbore is tentatively estimated, and for large depths of the deposit, the permissible injection modes are indicated in general terms, which provide natural heating of water to the paraffin crystallization temperature.

**Key words:** rock, deposit, injectivity, well operation mode, well.

В статье ставится цель – проанализировать зависимость температуры воды на забое нагнетательной скважины от приемистости пласта и глубины расположения забоя скважины. Наибольшей известностью пользуется формула А.Ю. Намиота [1], вывод которой мы здесь приведем. Проанализируем ее исходные предпосылки, оценим ее точность для различных условий приложения, дадим таблицу, облегчающую вычисления.

Введем следующие общепринятые обозначения [2]:  $z$  – вертикальная координата, абсолютная глубина в метрах,  $z > 0$ ;  $r$  – радиальная координата, расстояние до оси скважины в метрах,  $r > 0$ ;  $r_c$  – внешний радиус скважины, в метрах;  $r_m$  – радиус температурного влияния скважины, в мет-

рах;  $L$  – глубина забоя или длина колонны вертикальной скважины в метрах;  $\gamma$  – геотермический градиент температуры, около  $2-3^\circ\text{C}$  на 100 метров;  $\lambda$  – теплопроводность горной породы, около  $2-3 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ ;  $T_0$  – температура закачиваемой воды на устье скважины, принимаемая равной температуре дневной поверхности;  $T_в$  – температура закачиваемой воды на забое скважины;  $T_{пл}$  – пластовая температура, равная температуре горной породы на глубине  $L$ ;  $T_г(z)$  – температура горной породы вдали от скважины, ее значения связаны условиями:  $0 \leq z \leq L$ ,  $T_г(0) = T_0$ ,  $T_г(L) = T_{пл}$ ,  $T_г(z) = T_0 + \gamma z$ ,  $\gamma = (T_{пл} - T_0)/L$ ;

По истечению нескольких суток после пуска в работу нагнетательной скважины термический режим приобретает медленно

и монотонно изменяющийся, квазиустановившийся характер, температура вдоль колонны почти не меняется. Для установившегося после длительной эксплуатации режима, температура горной породы удовлетворяет уравнению Лапласа [3] и, пренебрегая вертикальной теплопроводностью горных пород из-за большого масштаба вдоль вертикали, радиальный профиль температуры в горной породе можно принять логарифмическим

$$T(r, z) = T_c(z) + [T_g(z) - T_c(z)] \cdot \frac{\ln(r / r_c)}{\ln(r / r_T)}$$

Воспользуемся этим представлением решения как приближенным для квазиустановившегося режима с целью определения потока тепла из горной породы в колонну скважины. Для единицы длины колонны в единицу времени имеем поток тепла согласно общепринятому закону Фурье

$$q_T = 2\pi r_c \lambda \frac{\partial T}{\partial r} = 2\pi \lambda \cdot \frac{T_g(z) - T_c(z)}{\ln(r_T / r_c)} \quad (1)$$

Изменение температуры воды по стволу скважины обусловлено лишь притоком тепла извне, ибо в силу несжимаемости и малой вязкости воды повышением ее температуры из-за внутреннего трения можно пренебречь. Уравнение баланса количества теплоты для элемента  $dz$  колонны в единицу времени запишется в виде

$$c_в Q_в dT_c = q_T dz, \quad (2)$$

где  $c_в$  – удельная объемная теплоемкость воды (в стандартных условиях 4,19 МДж/м<sup>3</sup>),  $Q_в$  – приемистость нагнетательной скважины в объемных единицах.

Введем для упрощения письма обозначение

$$\alpha = \frac{2\pi\lambda}{c_в Q_в \ln(r_T / r_c)}$$

Подставив (1) в (2) и произведя некоторые упрощения, для температуры воды в колонне скважины будем иметь уравне-

ние с принятым нами выше начальным условием

$$T_c' + \alpha T_c = \alpha T_g(z), \quad T(0) = T_0 \quad (3)$$

Решение задачи (3) элементарно и можно представить в виде

$$T_c(z) = T_0 + \gamma z - \frac{\gamma}{\alpha} (1 - e^{-\alpha z}),$$

что дает зависимость температуры воды по стволу нагнетательной скважины. Положив здесь  $z = L$  для температуры воды на забое, получаем

$$T_c(L) = T_0 + \gamma L - \frac{\gamma}{\alpha} (1 - e^{-\alpha L})$$

Эта и есть хорошо известная формула А.Ю. Намиота. Придадим ей более удобный для расчетов вид, заменив геотермальный градиент разностью температур пласта и дневной поверхности, поделенной на длину колонны скважины. Как условились выше, температуру на забое  $T_c(L)$  обозначим  $T_в$ . Тогда

$$T_в = T_{nl} - \frac{T_{nl} - T_0}{\alpha L} (1 - e^{-\alpha L}) \quad (2) \quad \gamma = (T_{nl} - T_0) / L \quad (4)$$

Естественно обозначить новой буквой безразмерный параметр  $\alpha L = \xi$  и ввести безразмерную температуру  $\theta$

$$\theta = \frac{T_в - T_0}{T_{nl} - T_0}, \quad \xi = \frac{2\pi\lambda L}{c_в Q_в \ln(r_T / r_c)}$$

Параметр  $\xi$  растет пропорционально росту глубины забоя  $L$  и убывает в обратной пропорции с ростом приемистости скважины. Другие параметры можно ориентировочно считать постоянными:  $r_m \sim 5$  м;  $\lambda \approx 2,5$  Вт/м·°С;  $r_c \approx 0,1$  м;  $c_в = 4,2$  МДж/м<sup>3</sup>·°С. При этих значениях параметров для  $Q = 1000$  м<sup>3</sup>/сут и  $L = 2000$  м; 3000 м и 4000 м получаем соответственно  $\xi = 0,165$ ; 0,248 и 0,331.

Теперь формула (4) записывается в беспараметровой форме, что позволяет иметь готовые таблицы для пересчета одного параметра в другой

$$\theta = 1 - \frac{1 - \exp(-\xi)}{\xi} \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) удобны для расчета температуры воды на забое при заданной приемистости. Однако нередко приходится проводить обратный счет, определять по заданной температуре на забое подходящее значение приемистости. Результат

решения относительно  $\xi$  при заданном  $\theta$  трансцендентного уравнения (5) приводится в таблице, которая облегчает нахождение режима закачки для заданной или желаемой температуры воды, закачиваемой в пласт.

Таблица – Зависимость параметра  $\xi$  от безразмерной температуры воды на забое нагнетательной скважины  $\theta = (T_z - T_0)/(T_{пл} - T_0)$

$\theta$	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$\xi$	0,02	0,04	0,103	0,214	0,334	0,464	0,606	0,761	0,934	1,126
$\theta$	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
$\xi$	1,342	1,593	1,885	2,232	2,657	3,197	3,920	4,965	6,68	10,0

Для высоких приемистостей скважин значения  $\xi$  малы и формулу (5) можно заменить на приближенное, более простое выражение

$$\theta = \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^2}{6} + \dots$$

в котором при  $\xi < 0,1$  достаточно удержать только выписанные два члена.

Если темп закачки мал, параметр  $\xi$  будет большим и температура воды на забое будет приближаться к пластовой. При нагнетании не подогретой морской воды желательно поддерживать такой темп нагнетания, при котором температура воды на забое будет не меньше температуры начала массовой кристаллизации парафина. Назовем критической ту приемистость, которая обеспечивает нагрев воды от устья до забоя от значения температуры дневной поверхности  $T_0$  до температуры  $T_{кр}$  начала массовой кристаллизации парафина (58-60°C) или для безразмерной температуры  $\theta$  от нуля до  $\theta_{кр} = (T_{кр} - T_0)/(T_{пл} - T_0)$ . Для 1 месторождения  $\theta_{кр} = (60 - 15)/(65 - 15) = 45/50 = 0,9$ ; для 2 месторождения  $\theta_{кр} = (60 - 30)/(90 - 30) = 30/60 = 0,5$ ; для 3  $\theta_{кр} = (60 - 30)/(135 - 30) = 30/105 \approx 0,3$ . Соответствующие критические значения параметра  $\xi$  составят: для 1-го  $\xi_{кр} = 10$ ; для 2-го  $\xi_{кр} = 1,593$ ; для 3-го  $\xi_{кр} = 0,761$ .

Ограничение на приемистость нагнетательной скважины, при выполнении которого обеспечивается естественный нагрев закачиваемой воды до критической температуры, имеет вид

$$Q_e \leq \frac{2\pi\lambda L}{\xi_{кр} c_e \ln(r_T / r_c)} \quad (6)$$

Примем, как и выше,  $r_m \sim 5$  м;  $\lambda \approx 2,5$  Вт/м·°С;  $r_c \approx 0,1$  м;  $c_e = 4,2$  МДж/м<sup>3</sup>·°С. Для условий рассмотренного ранее 1-го месторождения  $L = 2000$  м и  $\xi_{кр} = 10$ , формула (6) дает весьма жесткое ограничение на приемистость  $Q_e \leq 16$  м<sup>3</sup>/сут. Для условий 2-го месторождения  $L = 3000$  м и  $\xi_{кр} = 1,593$ , формула (6) дает уже несколько мягкое ограничение на приемистость  $Q_e \leq 150$  м<sup>3</sup>/сут. Для условий месторождения 3-го  $L = 4000$  м и  $\xi_{кр} = 0,761$ , формула (6) дает достаточно слабое ограничение на приемистость  $Q_e \leq 425$  м<sup>3</sup>/сут.

Полученные нами уровни ограничений несколько условны и ориентировочны, ибо принятые нами значения параметров могут варьироваться в некоторых пределах. Например, радиус температурного влияния  $r_T$  может быть менее 5 м на начальном этапе закачки (тогда ограничение (6) становится слабее), он станет порядка 10 м через год после начала эксплуатации скважины (тогда ограничение (6) становится чуть жестче). Для конкретных скважин

желательно уточнить не только значения радиуса температурного влияния  $r_T$ , но и осредненное по всей толще горной породы значение теплопроводности  $\lambda$  и внешнего радиуса колонны  $r_c$ .

Приведенные выше формулы (4), (5), а также таблица позволяют ориентировочно оценить нагрев воды по стволу скважины, указать в общих чертах для больших

глубин залегания залежи допустимые режимы нагнетания, обеспечивающие естественный подогрев воды до температуры кристаллизации парафина. При приемистости 3000 м<sup>3</sup>/сут и выше прирост температуры воды от устья до забоя нагнетательной скважины не превышает 5% от разности между пластовой температурой и температурой дневной поверхности.

#### **Библиографический список**

1. Намиот А.Ю. К вопросу об изменении температуры нефтяной или газовой скважины. Труды ВНИИ, вып. 8. М.: Гостоптехиздат, 1956.
2. Подземная гидравлика: учебник для вузов / К.С. Басниев, А.М. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. М.: Недра, 1986. 303 с.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.

#### **Referenses**

1. Namiot A.YU. K voprosu ob izmenenii temperatury neftyanoy ili gazovoy skvazhiny. Trudy VNII, vup. 8. M.: Gostoptekhizdat, 1956.
2. Podzemnaya gidravlika: uchebnik dlya vuzov / K.S. Basniev, A.M. Vlasov, I.N. Kochina, V.M. Maksimov. M.: Nedra, 1986. 303 s.
3. Tihonov A.N., Samarskij A.A. Uravneniya matematicheskoy fiziki. M.: Nauka, 1972. 735 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 20.05.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 10.06.2022*

*Принята к публикации / Accepted 15.06.2022*

*© Р.М. Алиев, Г.А. Азизов, 2022*

---

#### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Алиев Расул Магомедович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

*Rasul Aliev* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Business, Daghestan State Technical University.

*Азизов Габидулла Абдуллаевич* – старший научный сотрудник Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиала Объединенного института высоких температур РАН.

*Gabibulla Azizov* – Senior Researcher of the Institute of Geothermal Problems and Renewable Energy - a branch of the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences.

Ссылка для цитирования: *Алиев Р.М., Азизов Г.А.* Оценка естественного нагрева воды, закачиваемой в залежь по стволу нагнетательной скважины // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 3 - 6. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-3-6.

For citation: *Aliev R.M., Azizov G.A.* Estimation of natural heating of water injected into the reservoir through the injection wellbore // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 3 - 6. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-3-6.

**ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ ЧИСЛО В КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ  
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ НЕЧЕТКИХ ГИПЕРМНОЖЕСТВ**

И.С. Нурмагомедов

*Дагестанский государственный технический университет (филиал в г. Кизляр), Кизляр  
368800, Россия, Республика Дагестан, г. Кизляр, ул. Ленина, 6  
dstufkiz@mail.ru*

**Аннотация.** Рассмотрена проблема создания комбинированной модели представления знаний для метаязыка и внедрения механизмов понятийного мышления в интеллектуальные системы управления, в том числе автономные. Выделены характеристические числа листов как элементы комплексной модели представления знаний, связанные с сенсорными датчиками управления сложными динамическими объектами для распознавания образов в условиях неопределенности. Установлено, что при использовании главного вектора комбинированной модели представления знаний совместно с характеристическими числами листов страниц, пространство поиска, благодаря ключам и флагам, многократно сокращается.

**Ключевые слова:** главный вектор, интеллектуальная система, механизм понятийного мышления, метаязык, нечеткое гипермножество, представление знаний, характеристическое число.

**Abstract.** The problem of creating a combined model of knowledge representation for a metalanguage and introducing the mechanisms of conceptual thinking into intelligent control systems, including autonomous ones, is considered. Characteristic numbers of sheets are singled out as elements of a complex model of knowledge representation associated with sensory sensors for managing complex dynamic objects for pattern recognition under uncertainty. It has been established that when using the main vector of the combined knowledge representation model together with the characteristic numbers of page sheets, the search space, thanks to the keys and flags, is many times reduced.

**Key words:** main vector, intellectual system, conceptual thinking mechanism, metalanguage, fuzzy hyperset, knowledge representation, characteristic number.

**Введение**

Информирование и аксиоматика комплексной модели представления знаний нечетких гипермножеств (НГМ) по построению является избыточным, включающим аксиомы Цермело-Френкеля [5], работающим с нечеткой логикой Л. Заде [3], а также имеющим свои аксиомы. Избыточность

аксиоматики, а также алгоритмический подход, учитывающий различия языка и метаязыка, уменьшает вероятность появления парадоксов, что особенно важно для распознавания и/или моделирования образов на основе механизмов понятийного мышления (МПМ) для метауровня понимания.



Проблема внедрения МПМ как в интеллектуальные системы управления, так и в автономные интеллектуальные системы требует создания комбинированной модели представления знаний для метаязыка. Под метаязыком будем понимать язык, близкий к естественному языку, однако опирающийся на свою базу знаний (БЗ), следовательно, и на свою аксиоматику. Проблема будет решаться не путем эклектизма, а использованием многоуровневого мышления на основе комплексной модели представления знаний, когда в ситуационно-советующей системе, в зависимости от ситуации, используются по возможности наиболее подходящие средства на основе отображенной или получаемой через сенсорные датчики и обработанной МПМ информации на листах модели. Полученные с их помощью результаты подвергаются анализу ситуационно-советующей системы не только с точки зрения корректности обоснования в другом сегменте рассуждений, ставящем перед собой уже совершенно иные цели, но и с точки зрения возможности их применения для МПМ. То, что допустимо для одного понятия, выраженного НГМ, может быть абсолютно неприемлемо для другого. Это и является одним из преимуществ для решения проблем распознавания и/или классификации образов на основе механизма понятийного мышления.

### Характеристическое число в комплексной модели представления знаний нечетких гипермножеств

Одним из важнейших элементов комплексной модели представления знаний является характеристическое число (или элемент) листов, которое априори связано с сенсорными датчиками интеллектуальной системы управления, как в управлении сложными динамическими объектами [6], так и в распознавании образов в условиях неопределенности, опираясь на механизмы понятийного мышления.

Характеристическое число первого листа  $\mu_1^n$ , где нижний индекс – номер листа, а верхний индекс – число элементов  $n = \overline{i_1, i_2, \dots, i_7}$  содержит следующую текстовую информацию [1]:  $i_1 \equiv x_1/a_{10}$  – идентификатор;  $i_2 = \overline{2, 3, \dots, n-5}$  – служебная информация;  $i_3 = \overline{1, 2, \dots, n3}$  – число листов;  $i_4 = \omega_j/a_{0jk}$ ,  $j = \overline{1, 2, \dots, n1}$ ,  $k = \overline{1, 2, \dots, n3}$  – число признаков;  $i_5 = \omega_j^*/a_{0(n1+j)k}$ ,  $j = \overline{1, 2, \dots, n1}$ ,  $k = \overline{1, 2, \dots, n3}$  – число антипризнаков;  $i_6 = x_i/a_{i0}$ ,  $i = \overline{1, 2, \dots, m1}$  – число элементов базового столбца;  $i_7 = \overline{2, 3, \dots, n-5}$  – номер листа комплекса модели представления знаний нечетких гипермножеств  $\tilde{A}_{z_k}$ ,

$$\tilde{A}_{z_k} = \left\{ \begin{array}{cccc} \mu_1^n & \langle \omega_1/a_{01k} \rangle & \langle \omega_2/a_{02k} \rangle & \dots & \langle \omega_{n1}/a_{0n1k} \rangle \\ \langle x_1/a_{10} \rangle & \langle \mu_A(x_1, \omega_1)/a_{11k} \rangle & \langle \mu_A(x_1, \omega_2)/a_{12k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_1, \omega_{n1})/a_{1n1k} \rangle \\ \langle x_2/a_{20} \rangle & \langle \mu_A(x_2, \omega_1)/a_{21k} \rangle & \langle \mu_A(x_2, \omega_2)/a_{22k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_2, \omega_{n1})/a_{2n1k} \rangle \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \langle x_{m1}/a_{m10} \rangle & \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_1)/a_{m11k} \rangle & \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_2)/a_{m12k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_{n1})/a_{m1n1k} \rangle \\ \langle \omega_{n1}^*/a_{0n1}^* \rangle & \dots & \langle \omega_2^*/a_{02}^* \rangle & \dots & \langle \omega_1^*/a_{01}^* \rangle \\ \langle \mu_A(x_1, \omega_{n1})/a_{1n1k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_1, \omega_2^*)/a_{12k}^* \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_1, \omega_1^*)/a_{11k}^* \rangle \\ \langle \mu_A(x_2, \omega_{n1})/a_{2n1k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_2, \omega_2^*)/a_{22k}^* \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_2, \omega_1^*)/a_{21k}^* \rangle \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_{n1})/a_{m1n1k} \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_2^*)/a_{m2k}^* \rangle & \dots & \langle \mu_A(x_{m1}, \omega_1^*)/a_{m1k}^* \rangle \end{array} \right\}$$

где  $\omega_j, \omega_j^* \in \Omega, j = \overline{1, n1}, x_i \in X, i = \overline{1, m1},$  и  $z_k \in Z, k = \overline{1, n3}$  – четкое множество, а  $\mu_A(x_i, \omega_j)/a_{ijk}$  и  $\mu_A(x_i, \omega_j^*)/a_{ijk}^*$  указывают на степень нечеткости главного вектора комплексной модели представления знаний нечетких гипермножеств  $\tilde{A}_{z_k}$ , так как он содержит некоторую информацию и о других второстепенных листах, предназначенных для распознавания и/или моделирования образов на основе механизмов понятийного мышления.

Как известно, мышление и анализ могут быть глубокими или быстрыми поверхностными. Именно главный вектор комплексной модели представления знаний (характеристический элемент или число первого листа) совместно или без характеристических чисел остальных листов предназначен для проведения поверхностного анализа – первого этап классификации и распознавания образов на основе комплексной модели представления знаний НГМ, схема которого изображена на рисунке 1.

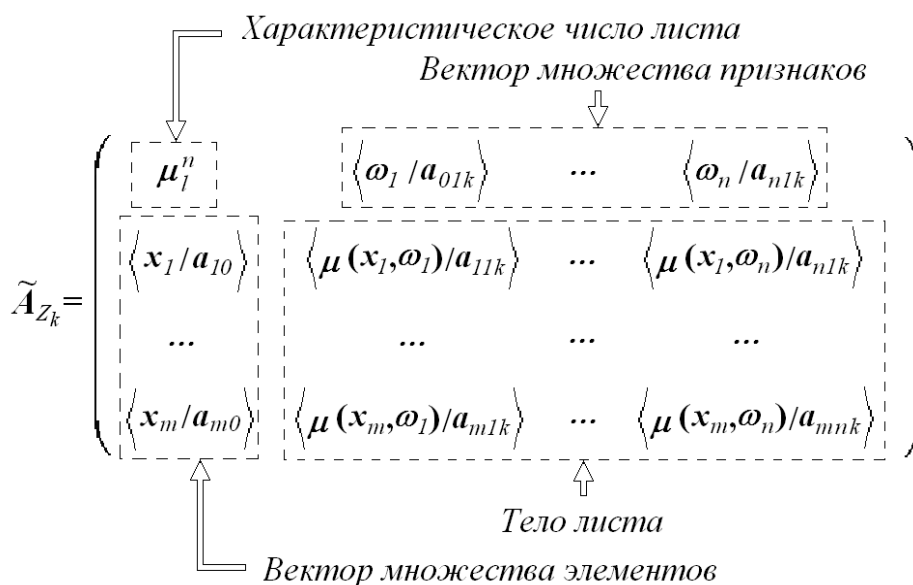


Рисунок 1 – Нечеткое гиперподмножество комплексной модели представления знаний нечеткого множества первого листа

При поверхностном мышлении используют главный вектор комплексной модели представления знаний первого листа, который обрабатывает вербальную информацию и характеристические числа листов невербальной информации, опираясь на логические операции как четкой, так и нечеткой логики [3, 5]. Остановимся более подробно на характеристических числах и на главном векторе комплексной модели представления знаний – управляющем элементе для поисковых операций классификации и распознавания на основе МПМ.

Во-первых, это иерархическая структура относительно характеристического числа каждого листа (рисунок 2).

Во-вторых, характеристическое число НГМ используется для поисковых операций, так как ее значение в БЗ является индексированным, подчиняясь правилам реляционной алгебры.

В-третьих, для обработки таких языковых конструкций как синонимы, антонимы, омонимы используют принципы комплексной модели представления знаний объектно-ориентированного программирования (инкапсуляция и полиморфизм), совместно с остальными элементами НГМ.

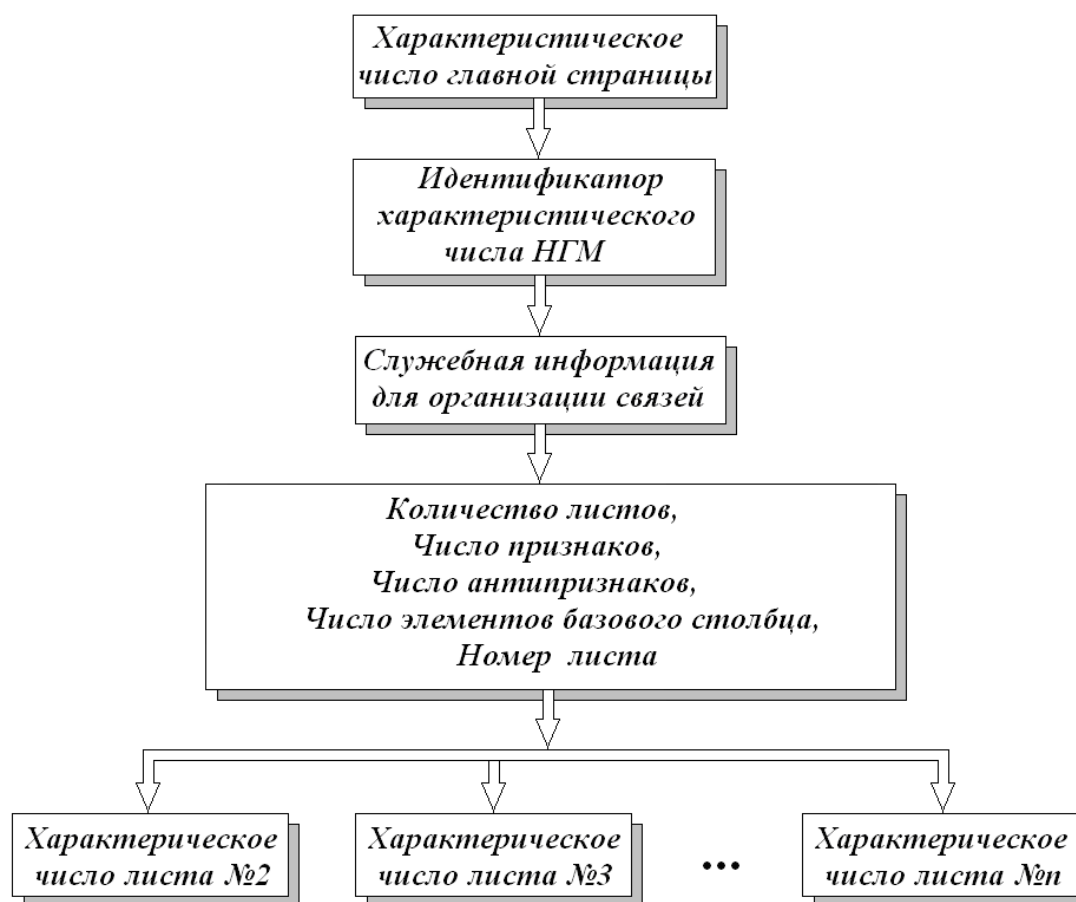


Рисунок 2 – Характеристическое число нечеткого гипермножества

И, в-четвертых, для обработки конструкций человеческой речи, таких как сравнения, метафоры, идиомы и аллегории, которые являются наиболее трудно представляемыми и реализуемыми для любой известной модели представления знаний, необходимо использование:

- всех вышеперечисленных конструкций от первого до четвертого;
- служебной информации для связей характеристического числа нечеткого гипермножества совместно с исчислением предикатов на основе НГМ [2] с элементами прямой и косвенной аналогии;
- элементов комплексной модели представления знаний объектно-ориентированного программирования – наследования, полиморфизма, перегрузки и инкапсуляции;

- элементов продукционной комплексной модели представления знаний;
- сетевых комплексных моделей представления знаний.

По своей сути главный вектор комплексной модели представления знаний – это ключевая запись в БЗ названия объекта (понятия) ситуации. Служебная информация для организации связей главного вектора комплексной модели представления знаний может обеспечить функционирование интеллектуальной системы для известных и распознанных объектов, связанных с конкретными понятиями, предметами или ситуацией. Однако для абстрактного объекта или неопознанного понятия при попадании в тупиковую ситуацию служебная информация может включать глубокое мышление и/или совет лицу, принимающему решение.

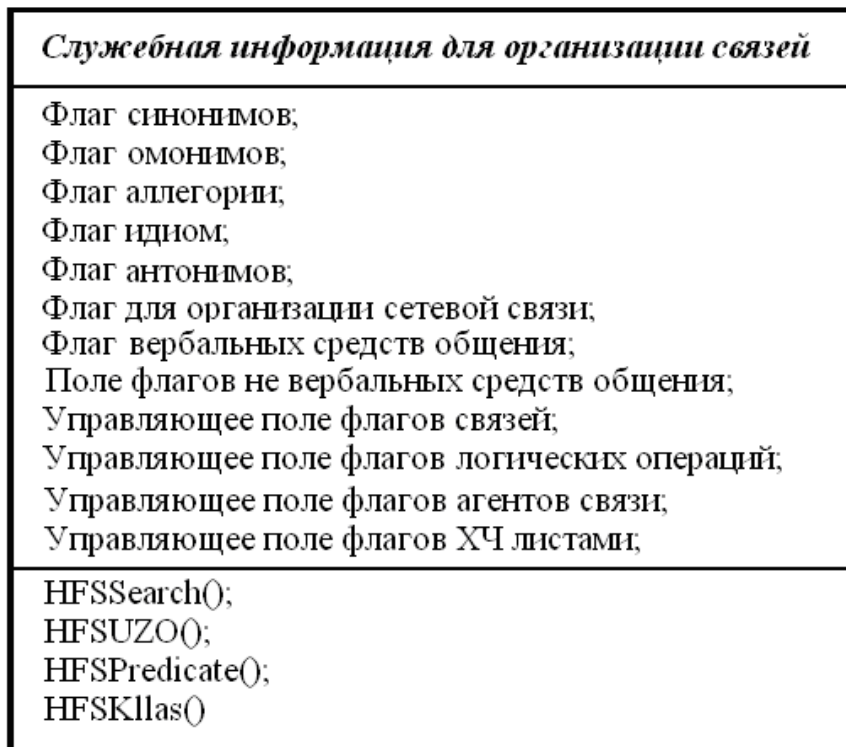


Рисунок 3 – UML диаграмма служебной информации главного вектора комплексной модели представления знаний

Служебная информация для организации связей главного вектора UML диаграмма представлена на рисунке 3.

Для краткости приведем описание главного вектора – характеристического

элемента первого листа с использованием метасимволов типичной Бэкуса-Наура формы:

**<Идентификатор главного вектора комплексной модели представления знаний>** → <идентификатор> |<Служебная информация для организации связей> |<количество листов>|<число признаков>|<число антипризнаков>|<число элементов базового столбца>|<номер страницы>;

**<идентификатор>** → <пробел>|<буква>|<идентификатор><буква> |<идентификатор><число>;

**<пробел>** → <нетерминальный символ пробел>;

**<буква>** → A|B|C|D|E|F|G|H|I|J|K|L|M|N|O|P|Q|R|S|T|U|V|W|X|Y|Z|a|b|c|d|e|f|g|h|i|j|k|l|m|n|o|p|q|r|s|t|u|v|w|x|y|z|A|Б|В|Г|Д|Е|Ё|Ж|З|И|Й|К|Л|М|Н|О|П|Р|С|Т|У|Ф|Х|Ц|Ч|Ш|Щ|Ы|Ь|Э|Ю|Я|a|б|в|г|д|е|ё|ж|з|и|й|к|л|м|н|о|п|р|с|т|у|ф|х|ц|ч|ш|щ|ы|ь|э|ю|я;

**<число>** → <цифра>{<цифра>}n|

**<цифра>** → 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9;

**<Служебная информация для организации связей>** → <флаг синонимов>|<флаг омонимов>|<флаг аллегории>|<флаг идиом> |<флаг антонимов>|<флаг для организации сетевой связи>|<флаг вербальных средств общения>|<поле флагов не вербальных средств общения>|<управляющее поле флагов связей>|<управляющее поле флагов логи-

ческих операций>|<управляющее поле агентов связи>|<управляющее поле флагов ХЧ листами>;

<флаг синонимов>→<флаг>;  
<флаг>→0|1;  
<флаг омонимов >→<флаг>;  
<флаг аллегории>→<флаг>;  
<флаг идиом >→<флаг>;  
<флаг антонимов >→<флаг>;  
<флаг для организации сетевой связи>→<флаг>;  
<флаг вербальных средств общения>→<флаг>;  
<поле флагов не вербальных средств общения>→<поле флагов>;  
<поле флагов >→<сторож поля>|<событие>;  
<сторож поля>→<замок поля>|<количество атрибутов в поле>|<ключи к флагам атрибутов в поле>|<приоритет обработки поля>;  
<замок поля>→<флаг>;  
<количество атрибутов в поле>→<число>;  
<ключи к флагам атрибутов в поле>→<флаг>{<флаг>}n;  
<приоритет обработки поля>→<цифра>n=1..255;  
<событие>→<флаг>|<время реакции>|<группа взаимоисключения >;  
<время реакции>→<число>;  
<группа взаимоисключения>→<число>;  
<управляющее поле флагов логических операций>→<поле флагов>;  
<управляющее поле агентов связи>→<поле флагов>;  
<управляющее поле флагов характеристического числа листов>→<поле флагов>;  
<количество листов>→<число>;  
<число признаков>→<число>;  
<число антипризнаков>→<число>;  
<число элементов базового столбца>→<цифра>;  
<номер страницы>→<цифра>;

Служебная информация для организации связей главного вектора комплексной модели представления знаний – это многоцелевой вектор, используемый как в целях управления, так и для решения проблемы моделирования новых понятий БЗ. Достаточно указать, что главный вектор можно рассматривать как и хромосому для генетических алгоритмов при включении глубокого мышления интеллектуальным решателем. Полное описание процесса функционирования выходит далеко за рамки одной статьи.

Одна из актуальных задач служебной информации для организации связей главного вектора – обработка так называемых «событий». Событие – основная информационная единица процесса обработки поля флагов, предназначенная для активизации лиц, принимающих решение, и интеллектуальных систем запуска, запрещения и разрешения появления других событий, изменения значений характеристик понятия, а также для задания этих характеристик в ситуационно-советующих системах для распознавания образов на основе МПМ. Событие имеет определенную дли-

тельность во времени и может вызываться одним из следующих способов:

- другим событием;
- достижением заданного состояния объекта и/или субъекта;
- выполнением целевого условия;
- случайным образом.

Допускаются и произвольные сочетания перечисленных способов, если описываемое событие наступает при истинных значениях поля. Наступление события может быть запрещено другим событием заданными значениями поля флагов, определяемой мерой допустимости в НГМ. В этом случае, даже при истинности условий наступления данного события, оно не активизируется до тех пор, пока не завершится запрещающее событие или не наступит другое разрешающее его событие. Для определения порядка наступления событий служит атрибут <приоритет обработки поля> – целое число от 0 до 255. Первыми выполняются события с более высоким приоритетом (числом). Кроме того, события описывается ключом, характеризующим следующий набор общих (системных) атрибутов:

- постоянство события – двоичный флаг, разрешающий событию участвовать в процессе после своего появления;
- время реакции – целое число, задающее в условных единицах интервал времени, по истечении которого с момента активизации наступят последствия события (вызываемые события, изменение характеристик объектов, запрещаемые/ разрешаемые события и т.д.);
- группа взаимоисключения – целочисленный атрибут, исключающий одновременное наступление двух или более событий, активизированных в один и тот же момент времени.

При этом выбирается одно событие, имеющее наивысший приоритет. В процессе синтеза атрибута для обработки по-

ля флагов элементарное событие определяется как действие субъекта, в результате которого могут измениться характеристики понятия, либо закономерно, либо как действие внешнего фактора, определяемое мерой допустимости в нечетких гипермножествах, которое может приводить или не приводить к изменению заданных значений поля флагов. Элементарным называется событие или его фрагмент, протекающий в течение единичного кванта времени, задаваемого тактовой частотой процессора. Совокупность элементарных событий в момент  $t$  называется состоянием. Последовательность состояний есть процесс обработки поля флагов по сценарию.

Факторы – разновидность неуправляемых событий, обусловленных внешней средой, и воспринимаемых сенсорными датчиками интеллектуальных систем. Действия факторов могут приводить к изменению характеристик понятия, а также к вызову, активизации и запрещению определенных событий и действий лица, принимающего решения. Фактор описывается предикатом следующего вида: фактор (<название события>, <тип события>, <имя фактора>, <длительность события>, <группа исключения>, <время реакции>, <список вызываемых событий>, <список активизируемых событий>, <список отключаемых событий>, <имя объекта>, <имя субъекта>, <имя атрибута>, <способ изменения значения атрибута>, <значение>). Предикаты рассмотрены в работах [2, 7].

При использовании главного вектора комплексной модели представления знаний совместно с характеристическими числами листов страниц в целях управления, и распознавания, пространство поиска, благодаря ключам и флагам, сокращается многократно.

Характеристические числа листов 2, 3 и т.д. в основном служат для связи и отображения признаков невербальной инфор-

мации, они связаны с сенсорными датчиками интеллектуальной системы управления. Приведем *UML* диаграмму для харак-

теристического числа второстепенных листов (рисунок 4).



Рисунок 4 – *UML* диаграмма характеристического числа второстепенных листов комплексной модели представления знаний нечеткими гипермножествами

Как видно из рисунков 2 и 3, для характеристического числа второстепенных листов отсутствует «идентификатор» и «поле флагов вербальных средств общения».

### Заключение

Использование как монотонных, так и немонотонных логик совместно с аксиомами, позволяет провести структурирование и классификацию образа на основе МПМ, свойственного комплексной модели представления знаний нечеткими гипермноже-

ствами. При этом понятия распознаются более устойчиво, что может быть применено в интеллектуальных системах управления и автоматизированных информационных системах. Эксперименты по имитационному моделированию, проводимые в лабораторных условиях, подтвердили вышеприведенные факты. Однако для полной апробации следует использовать многопроцессорные комбинированные системы цифровых [4] и аналоговых машин.

### Библиографический список

1. Абдурахманов А.А. Нурмагомедов И.С. Моделирование нечеткого гипермножества на основе нейрочиповых технологий // Научные технологии. 2007. № 12. С. 70-79.
2. Абдурахманов А.А. Нурмагомедов И.С. Предикаты на основе нечетких гипермножеств // SCM'2007. X международная конференция по мягким вычислениям и измерениям: сборник докладов. С-Пб.: Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. Т. 1. С. 166-171.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 168 с.
4. Каляев И.А., Капустян С., Клименко В., Усачев Л. Многопроцессорные распределенные системы управления интеллектуальных мобильных роботов // Современные технологии автоматизации. 1997. № 4. С. 94-97.
5. Клини С. Математическая логика. М.: Мир, 1973. 480 с.

6. Макаров И.М. Концептуальные основы организации интеллектуального управления сложными динамическими объектами. В кн. Интеллектуальные системы автономного управления / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 576 с.

7. Нурмагомедов И.С., Нурмагомедова Л.И. Основные положения и факты, необходимые для моделирования сценариев, используя механизмы понятийного мышления на основе нечетких гипермножеств // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 1 (20). С. 16-24.

### **Referenses**

1. Abdurahmanov A.A. Nurmagomedov I.S. Modelirovanie nechetkogo gipermnozhestva na osnove nejrochipovyh tekhnologij // Naukoemkie tekhnologii. 2007. № 12. S. 70-79.

2. Abdurahmanov A.A. Nurmagomedov I.S. Predikaty na osnove nechetkih gipermnozhestv // SCM'2007. X mezhdunarodnaya konferenciya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam: sbornik dokladov. S-Pb.: Izd. SPbGETU «LETI», 2007. T. 1. S. 166-171.

3. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. M.: Mir, 1976. 168 s.

4. Kalyaev I.A., Kapustyan S., Klimenko V., Usachev L. Mnogoprocessornye raspredelennye sistemy upravleniya intellektual'nyh mobil'nyh robotov // Sovremennye tekhnologii avtoma-tizacii. 1997. № 4. S. 94-97.

5. Klini S. Matematicheskaya logika. M.: Mir, 1973. 480 s.

6. Makarov I.M. Konceptual'nye osnovy organizacii intellektual'nogo upravleniya slozhnymi dinamicheskimi ob"ektami. V kn. Intellektual'nye sistemy avtonomnogo upravleniya / Pod red. I.M. Makarova, V.M. Lohina. M.: FIZMATLIT, 2001. 576 s.

7. Nurmagomedov I.S., Nurmagomedova L.I. Osnovnye polozheniya i fakty, neobhodimye dlya modelirovaniya scenarijev, ispol'zuya mekhanizmy ponyatijnogo myshleniya na osnove nechetkih gipermnozhestv // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2011. № 1 (20). S. 16-24.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 26.05.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 12.06.2022*

*Принята к публикации / Accepted 15.06.2022*

*© И.С. Нурмагомедов, 2022*

---

### **Сведения об авторе**

#### **List of Author**

---

*Нурмагомедов Исамудин Серкеревич* – старший преподаватель кафедры естественнонаучных, гуманитарных, общепрофессиональных и специальных дисциплин филиала в г. Кизляр Дагестанского государственного технического университета.

*Isamudin Nurmagomedov* – Senior Lecturer of the Department of Natural Sciences, Humanities, General Professional and Special Disciplines of the Branch in Kizlyar, Dagestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Нурмагомедов И.С. Характеристическое число в комплексной модели представления знаний нечетких гипермножеств // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 7 - 15. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-7-15.*

For citation: *Nurmagomedov I.S. Characteristic number in a complex model of knowledge representation of fuzzy hypersets // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 7 - 15. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-7-15.*



## ОСОБЕННОСТИ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА ЭЛЕГАЗА В РЕЖИМЕ НЕДОНАПРЯЖЕНИЯ

К.А. Эфендиев

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
k.efendiew@yandex.ru

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментального исследования искрового разряда, возникающего в однородном электрическом поле, когда напряжение на газовом промежутке меньше напряжения статического пробоя. Установлена зависимость напряжения пробоя от внешнего ионизирующего облучения и длины газового промежутка. Установлены закономерности формирования искровых каналов в элегазе  $SF_6$ .

**Ключевые слова:** время, давление, искровой канал, искровой разряд, механизм пробоя, напряжение, отрицательный стример, положительный стример, элегаз.

**Abstract.** The results of an experimental study of a spark discharge arising in a uniform electric field, when the voltage across the gas gap is less than the static breakdown voltage, are presented. The dependence of the breakdown voltage on external ionizing radiation and the length of the gas gap is established. Regularities of formation of spark channels in  $SF_6$  were established.

**Key words:** time, pressure, spark channel, spark discharge, breakdown mechanism, voltage, negative streamer, positive streamer,  $SF_6$ .

### Введение

До настоящего времени не создана теория искрового пробоя с охватом как начальной, так и конечной стадии пробоя. Теория стримеров, разработанная в работах Д. Мика и Д. Крегса, относится к начальной стадии пробоя [1]. В начальной стадии искрового пробоя лавина электронов переходит в стримеры, которые распространяются к аноду и катоду, образуя стримерный канал. Г. Ретер [3] экспериментально показал, что, когда стримерный канал замыкает катод и анод, на промежутке держится почти полное напряжение импульса. В конечной стадии искрового пробоя происходит формирование искрового канала с малым сопротивлением и ярким свечением. Конечная стадия зависит

не только от природы газа, но и от природы катода, что в теории стримеров не учитывается. Для создания более общей теории пробоя необходимо дальнейшее накопление экспериментальных данных с охватом как начальной, так и конечной стадии пробоя [9].

Мы исследовали явление искрового пробоя элегаза ( $SF_6$ ) с учетом широкого применения этого газа как изолятора и теплоносителя в высоковольтной электротехнике [3, 4]. Для шестифтористой серы характерным является очень большой коэффициент теплового расширения и высокая плотность. Это важно для энергетических установок, в которых проводится охлаждение каких-либо частей устройства, так как при

большом коэффициенте теплового расширения легко образуется конвективный поток, уносящий тепло.

В центре молекулы элегаза расположен атом серы, а на равном расстоянии от него в вершинах правильного октаэдра располагаются шесть атомов фтора (рисунок 1). Это определяет высокую эффективность захвата электронов молекулами, их относительно большую длину свободного пробега и слабую реакционную способность. Поэтому элегаз обладает высокой электрической прочностью.

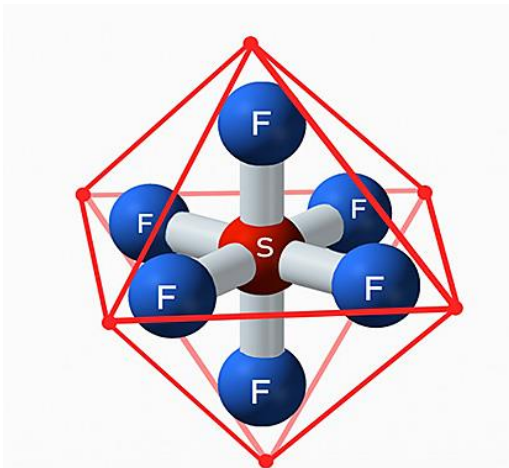
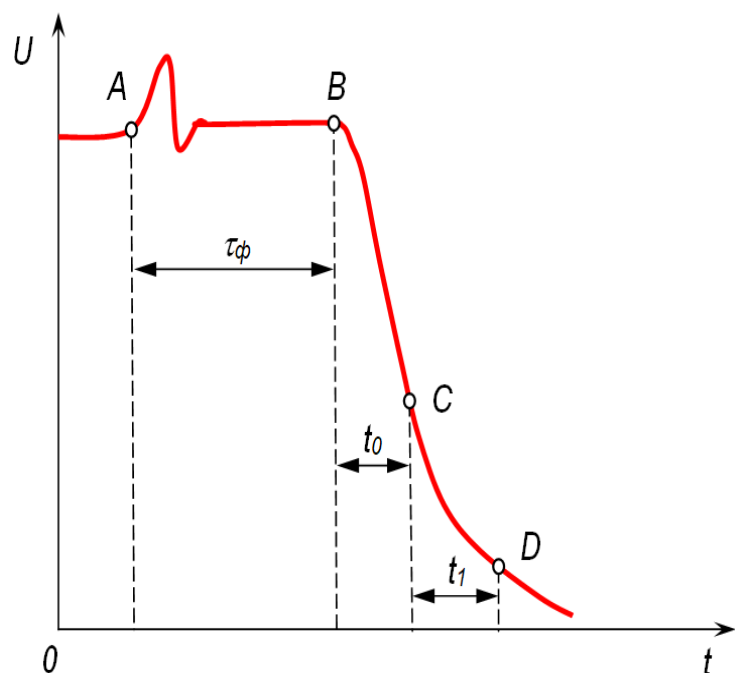


Рисунок 1 – Строение элегаза

Исследование искрового пробоя элегаза производилось в режиме недонапряжения (когда напряжение на промежутке  $U$  меньше напряжения статического пробоя  $U_0$ ), при наличии облучения испытываемого промежутка светом от искры в том же газе в однородном электрическом поле (электроды имели форму элект-

Рисунок 2 – Схематический вид осциллограммы пробоя недонапряженного промежутка



родов Роговского). Давление газа менялось в пределах от 53 до 462 тор, а расстояние между электродами от 1 мм до 10 мм. Изменение напряжения на испытываемом промежутке фиксировалось с помощью осциллографа, а оптическая картина развития пробоя – с помощью электронно-оптического преобразователя. Напряжение пробоя в режиме недонапряжения измерялось электростатическим киловольтметром с относительной точностью  $\pm 1,5\%$ . Относительная точность измерения времени по осциллограммам менялась от 5 до 10%.

Схематический вид осциллограмм пробоя недонапряженных промежутков дан на рисунке 2. Колебания А сигнализируют о начале импульсного облучения промежутка ионизирующим излучением, что кладет начало пробую недонапряженного промежутка.

### Результаты исследования и обсуждение

В таблице 1 приведены максимальные недонапряжения в зависимости от отношения напряженности поля  $E$  к давлению  $p$  для различных длин газовых промежутков и давлений.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований искрового пробоя элегаза

Длина газового промежутка $d$ , см	Давление газа $P$ , тор	Отношение $\frac{E}{P}$ , $\frac{в}{см \cdot тор}$	Недонапряжение $\frac{U_0 - U_m}{U_0} \times 100\%$	Минимальное напряжение пробоя $U_m$ , кВ
0,1	462	98,4	2,90	4,42
0,2	462	106,0	3,70	9,4
0,3	462	108,9	1,32	14,9
0,5	53	147,0	7,70	3,6
1	53	136,8	4,12	4,12

В таблице 2 для тех же давлений и длин газовых промежутков даны времена формирования  $\tau_{\phi}$  и время спада напряжения на промежутке  $t_0$  от напряжения про-

боя  $U$  до напряжения горения дуги  $U_c$  (рисунок 2) в зависимости от недонапряжения и отношения  $E / p$ .

Таблица 2 – Зависимость времени формирования и времени спада напряжения от напряжения пробоя и горения дуги

Длина газового промежутка $d$ , см.	Давление газа $P$ , тор	Недонапряжение $\frac{U_0 - U_m}{U_0} \times 100\%$	Время формирования пробоя $\tau_{\phi}$ , нс	Время спада напряжения на промежутке $t_0$ , нс	Отношение $\frac{E}{P}$ , $\frac{в}{см \cdot тор}$
0,1	462	1,10	154	53	97,3
0,2	462	1,02	393	86	104,9
0,2	462	2,04	260	59	104
0,2	462	3,06	230	100	102,8
0,3	462	0	192	75	109
0,3	462	0,66	420	86	108,2
0,3	462	1,32	480	99	107,5
1,0	53	0,70	530	80	135,8

Рост отношения  $E / p$  приводит к увеличению энергии, накапливаемой электронном на длине свободного пробега, что должно привести к увеличению коэффициента ионизации электронами  $\alpha$  (первый коэффициент Таунсенда). Рост коэффициента  $\alpha$  приводит к увеличению недонапряжения газового промежутка. Элегаз является электроотрицательным газом. Электроны в электронных лавинах, присоединяясь к молекулам элегаза, образуют отрицательные ионы, которые не способ-

ствуют развитию пробоя. Этот процесс уменьшает возможное недонапряжение.

Таким образом, имеются два процесса, один из которых увеличивает возможное недонапряжение, а другой процесс уменьшает его. С ростом длины промежутка процесс захвата электронов молекулами элегаза выходит на первое место в смысле влияния на уменьшение величины недонапряжения по сравнению с ростом энергии электронов на длине свободного пробега. Указанная закономерность согласуется с формулой [2]:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\alpha - a} \{ \alpha \cdot e^{(\alpha-a)d} - a \},$$

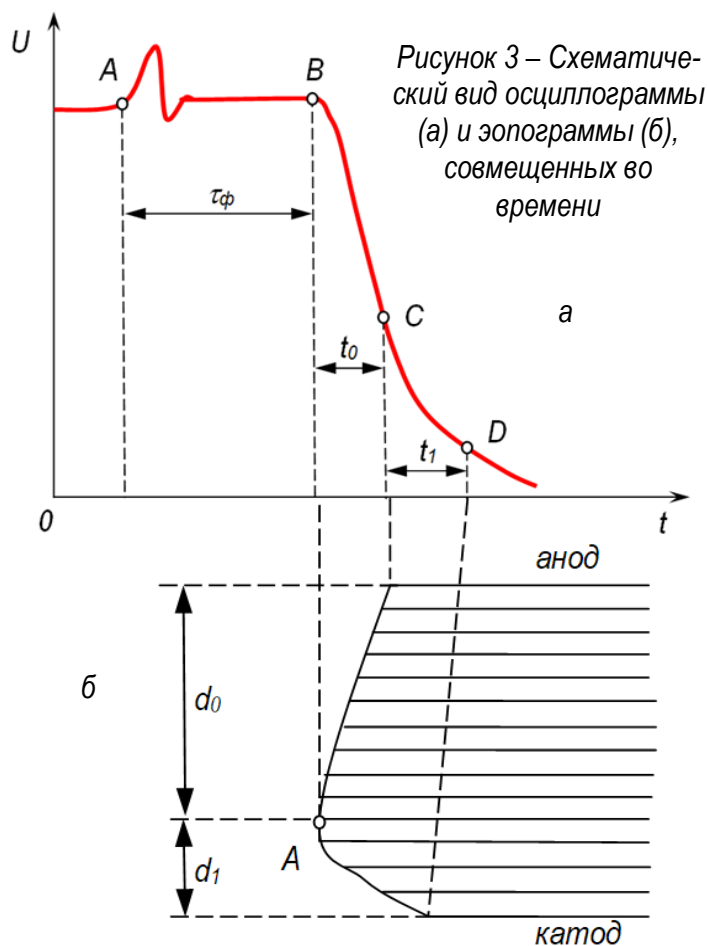
где  $I$  – ток,  $I_0$  – начальный ток,  $\alpha$  – коэффициент ионизации электронами,  $a$  – число электронов, захваченных на пути в 1 см в направлении поля. С ростом длины промежутка роль члена  $e^{ad}$ , замедляющего процесс пробоя, возрастает по сравнению с  $e^{\alpha d}$ , что и приводит к уменьшению величины недонапряжения с ростом длины промежутка. Это представляет интерес для техники изоляции в условиях наличия внешних излучений изоляционного промежутка.

Из таблицы 2 видно, что время формирования  $\tau_{\phi}$  и время спада  $t_0$  напряжения от напряжения пробоя  $U$  до напряжения перехода искры в дугу  $U_c$  несколько увеличиваются с ростом длины газового промежутка, когда давление газа и недонапряжение являются постоянными. По нашему мнению, рост  $\tau_{\phi}$  и  $t_0$  связан с ростом  $d$ , с одной стороны, с увеличением расстояния, которое проходит лавина и стримерами, а, с другой стороны, образованием отрицательных ионов путем захвата электронов молекулами элегаза.

Нами исследовалась зависимость спада напряжения на газовом промежутке от напряжения пробоя  $U$  до напряжения горения  $U_c$  с помощью осциллографа, с одновременной фиксацией оптической картины развития разряда в пространстве и во времени с помощью электронно-оптического преобразователя. При этом временная развертка осциллографа и электроннооптического преобразователя производится одним и тем же импульсом напряжения. Этот факт позволяет нам совмещать во времени осциллограмму и эопограмму. Экспериментальные исследования различных авторов и

наши исследования показали, что момент начала спада напряжения на газовом промежутке совпадает с моментом появления первого видимого свечения в нем и моментом резкого роста силы тока, с точностью  $\sim 10^{-8}$  сек.

На рисунке 3 дана схематическая картина осциллограммы и эопограммы, совмещенных во времени. Анализ полученных эопограмм показывает, что при пробое недонапряженных газовых промежутков и при наличии внешнего ионизирующего облучения (светом от искрового разряда), первое видимое свечение возникает в катодной половине газового промежутка (точка А). Первое видимое свечение (рисунок 3) с большой скоростью распространяется по направлению к аноду, однако, с приближением к аноду скорость движения свечения уменьшается. Свечение, распространяющееся к аноду, мы называем отрицательным стримером.



Свечение, которое распространяется из области первого видимого свечения по направлению к катоду, мы называем положительным стримером.

Положительный стример за время  $t_0$  проходит небольшое расстояние. Дальнейшее распространение положительного стримера до катода происходит за время  $t_1$  (рисунок 3), проходящее от момента перехода искры в искродуговую стадию (точка С) до момента образования сильно светя-

щегося искрового канала (точка D), замыкающего газовый промежуток.

В таблице 3 приведены средние расстояния, пройденные отрицательным  $d_0$  и положительным  $d_1$  стримерами и средние времена  $t_0$  и  $t_1$ , в течение которых соответствующие стримеры проходят расстояния  $d_0$  и  $d_1$ ; скорость отрицательного стримера  $v_0 = d_0 / t_0$  и положительного стримера  $v_1 = d_1 / t_1$  при разных длинах промежутка, давлениях газа, напряжениях пробоя и отношениях  $E / p$ .

Таблица 3 – Скорости стримеров

$d_0$ , мм	$d_1$ , мм	$t_0$ , нс	$t_1$ , нс	$v_0 \times 10^6 \frac{см}{с}$	$v_1 \times 10^5 \frac{см}{с}$	Напряжение пробоя $U$ , кВ	Отношение $E / p, \frac{в}{см \cdot тор}$
$d = 2 \text{ мм}; p = 462 \text{ тор}; U_0 = 9,8 \cdot 10^3 \text{ В}$							
1,7	0,35	100	146	1,65	2,40	9,50	102,8
1,6	0,39	46,6	113	4,1	3,8	9,60	103,9
1,7	0,34	56,6	176	3,0	2,3	9,70	104,9
$d = 3 \text{ мм}; p = 462 \text{ тор}; U_0 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ В}$							
1,8	0,93	91	310	1,76	4,1	14,9	107,5
1,8	1,1	90	307	1,89	3,7	15	108,2
2,0	0,93	70	285	2,4	3,9	15,1	108,9
$d = 10 \text{ мм}; p = 53 \text{ тор}; U_0 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ В}$							
6,1	3,9	85	337	7,2	1,25	7,2	135,8

Из таблицы 3 видно, что скорость отрицательного стримера  $v_0$  примерно на порядок больше, чем скорость положительного стримера  $v_1$ . Скорость отрицательного стримера увеличивается с ростом отношения  $E / p$ . Разница в скоростях отрицательного и положительного стримеров объясняется тем, что скорость отрицательного стримера определяется процессами в газе, в частности, энергией, которую электроны приобретают на длине свободного пробега, а скорость положительного стримера определяется не только процессами в газе, но и на катоде. При этом на завершающей стадии развития положительного стримера напряженность поля сильно снижается из-за перераспре-

деления напряжения в цепи с ростом силы тока в формирующемся канале искры.

В условиях наших опытов, когда газовый промежуток находится в режиме недо-напряжения, а катод и пробиваемый газ подвергаются действию ионизирующего излучения искры в том же газе, пробой может произойти по смешанным механизмам пробоя, предложенным в работах [3, 5, 6, 7]. По смешанным теориям пробой начинается раскачиванием электронных лавин как в теории Таунсенда, а завершается как по стримерной теории в суммарном поле  $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_n$ , где  $\vec{E}_0$  – внеш-

нее приложенное поле,  $\vec{E}_n$  – поле положительных пространственных зарядов.

В условиях наших опытов пробиваемый газовый промежуток подвергался облучению светом от искры и поэтому пробивался газ в состоянии плазмы. К возникновению и распространению свечений можно применить плазменно-волновую модель пробоя, разработанную в работе [8], согласно которой неоднородности, возникающие у катода и анода, вызывают плазменные колебания, которые способствуют пробоям.

### **Выводы**

1. Под действием внешнего ионизирующего излучения светом искры снижается напряжение пробоя.

2. Снижение напряжения пробоя под действием внешнего ионизирующего облучения в элегазе уменьшается с ростом длины газового промежутка, что возможно объяснить захватом электронов лавины молекулами элегаза. Этот эффект можно использовать в изоляционной технике.

3. Скорость отрицательного стримера на порядок больше скорости положительного стримера.

### **Библиографический список**

1. Мик Д., Крегс Д. Электрический пробой в газах. М.: Мир, 1960. 600 с.
2. Энгель А.Э. Ионизованные газы. - М.: Физматгиз, 1959. - 323 с.
3. Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. М.: Мир, 1968. 390 с.
4. Гохберг Б.М., Зандберг Э. А. Электрические свойства элегаза // Доклады Академии наук СССР. 1946. № 55. С. 511 – 514.
5. Нестерихин Ю.Е., Камельков В.С., Мейлихов Е.З. Импульсный пробой малых промежутков в наносекундной области времен // Журнал технической физики. XXIV. 1964. Т. 4. С. 40-52.
6. Омаров О.А., Рухадзе А.А., Шнеерсон Г.А. О плазменном механизме пробоя газов высокого давления в сильном постоянном электрическом поле // Журнал технической физики. 1979. Т. 19. С. 1997.
7. Омаров О.А., Бройтман А.П., Решетняк С.А., Рухадзе А.А. О начальной стадии формирования стримерного пробоя газов // Краткие сообщения по физике ФИАН. Т. 6. 1984. С. 50-54.
8. Шелоболин А.В. Плазменно-волновая модель электрического пробоя газов // Физика плазмы. 2003. Т. 29. № 2. С.187-197.
9. Эфендиев К.А. Особенности импульсного пробоя воздуха в магнитном поле // Научные исследования: итоги и перспективы. 2020. Т. 1. № 2. С. 34-38.

### **Referenses**

1. Mik D., Kregs D. Elektricheskiy proboj v gazah. M.: Mir, 1960. 600 s.
2. Engel' A.E. Ionizovannye gazy. - M.: Fizmatgiz, 1959. - 323 s.
3. Reter G. Elektronnyye laviny i proboj v gazah. M.: Mir, 1968. 390 s.
4. Gohberg B.M., Zandberg E. A. Elektricheskie svojstva elegaza // Doklady Akademii nauk SSSR. 1946. № 55. S. 511 – 514.
5. Nesterihin YU.E., Kamel'kov V.S., Mejl'ihov E.Z. Impul'snyj proboj malyh promezhutkov v nanosekundnoj oblasti vremen // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. XXIV. 1964. T. 4. S. 40-52.
6. Omarov O.A., Ruhadze A.A., Shneerson G.A. O plazmennom mekhanizme proboya gazov vysokogo davleniya v sil'nom postoyannom elektricheskom pole // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. 1979. T. 19. S. 1997.
7. Omarov O.A., Brojtman A.P., Reshetnyak S.A., Ruhadze A.A. O nachal'noj stadii formirovaniya strimer'nogo proboya gazov // Kratkie soobshcheniya po fizike FIAN. T. 6. 1984. S. 50-54.
8. Shelobolin A.V. Plazmenno-volnovaya model' elektricheskogo proboya gazov // Fizika plazmy. 2003. T. 29. № 2. S.187-197.

9. Efendiev K.A. Osobennosti impul'snogo probaya vozduha v magnitnom pole // Nauchnye is-sledovaniya: itogi i perspektivy. 2020. T. 1. № 2. S. 34-38.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 24.05.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 12.06.2022*

*Принята к публикации / Accepted 22.06.2022*

*© К.А. Эфендиев, 2022*

---

**Сведения об авторе**

**List of Author**

---

*Эфендиев Камиль Абдулович* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

*Kamil Efendiev* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Эфендиев К.А.* Особенности искрового разряда элегаза в режиме недонапряжения // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 16 - 22. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-16-22.

For citation: *Efendiev K.A.* Features of the spark discharge of SF6 gas in the undervoltage mode // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 16 - 22. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-16-22.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КРЕМНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКОМКОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.С. Тепина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
leonova\_ms@mail.ru

**Аннотация.** Производство технического кремния сопровождается большим количеством пылевых выбросов. Результаты проведенных исследований показали, что пыль кремниевого производства, содержащую в составе в среднем 86 %  $\text{SiO}_2$ , целесообразно использовать повторно в качестве добавки к основному сырью для выплавки кремния при использовании методики окомкования, что не только снизит экологическую нагрузку на окружающую среду, но и улучшит условия труда.

**Ключевые слова:** карботермический процесс, кремний, окомкование, пылевые отходы, шихтовые материалы.

**Abstract.** The production of technical silicon is accompanied by a large amount of dust emissions. The results of the studies have shown that silicon production dust, containing an average of 86%  $\text{SiO}_2$ , should be reused as an additive to the main raw material for silicon smelting using the pelletizing technique, which will not only reduce the environmental impact on the environment, but also improve conditions labor.

**Key words:** carbothermal process, silicon, pelletizing, dust waste, charge materials.

### Введение

В настоящее время деятельность промышленных предприятий в России характеризуется неблагоприятным воздействием на окружающую среду. В значительной степени экологические риски возникают в металлургической отрасли. Таким образом экологическая обстановка в районах алюминиевых и кремниевых производств требует принятия мер по минимизации вредных факторов и утилизации источников загрязнения сточных вод и почв.

Одним из опаснейших источников, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду близлежащего региона, является кремниевое производство. Производство металлургического кремния сопровождается рядом экологических рисков: загрязнением поверхностных и подземных

вод, загрязнением атмосферного воздуха и образованием огромного количества промышленных отходов.

Следовательно, самым вредным фактором данного производства является образование большого количества пылевых выбросов. На 1 т кремния приходится от 300 до 900 кг пылевых материалов [5]. Пыль – это унос из горна электропечи мелкофракционной взвеси трех видов продуктов.

Во-первых, дисперсных продуктов химического реагирования в шихте (типа  $\text{Si}$  и  $\text{SiO}_2$ ), полученных по реакции диспропорционирования:  $\text{SiO}_2$  – продукта окисления паров  $\text{Si}$  и  $\text{SiO}$ ;  $\text{CaO}$  – результата окисления паров кальция;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – продукта диспропорционирования и окисления  $\text{Al}_2\text{O}$ ,  $\text{AlO}$  [5, 12].



Во-вторых, мелких частиц компонентов шихты из колошникового слоя, образованных после контрольного грохочения и отделения мелочи. В результате переизмельчения при дозировке, транспортировке и загрузке шихты в печь [5].

В-третьих, продуктов измельчения компонентов шихты в горне кварцита и, особенно, углеродистых материалов в ходе восстановления и разукрупнения реагирующих частиц при осадке и опиковке шихты [5].

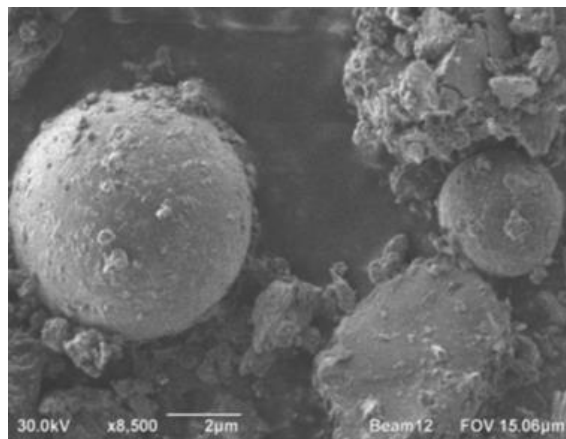
Низкое извлечение и значительные его потери связаны с отходящими газами. Основным источником образования циклонной пыли кремниевого производства является механическое измельчение сырьевых компонентов в процессах транспортировки, дозирования, загрузки и плавки [5, 2].

К тому же пыль, содержащая в основе диоксид кремния, имеет достаточно мелкофракционную структуру (большая часть частиц пыли имеет размер от 200 до 250 мкм) [5]. Такие частицы легко проникают в дыхательные пути, поражают органы дыхания, вызывая такие заболевания, как силикозы, пневмокониозы, онкологические и др. [10]. Хотя кремниевые предприятия оснащены системами газоочистки, вопросы сортировки пыли по полезным свойствам, утилизации и хранения не решены, поэтому она продолжает складироваться на шламохранилищах, нанося при этом непоправимый урон окружающей среде и местному населению [5].

#### **Объект и методы исследований**

Объектом исследований явилась пыль газоочистки производства АО «Кремний». Исследования состава техногенных пылевых материалов АО «Кремний» проводили

с помощью электронного микроскопа *JEOL JIB-Z4500*, оснащенного энергодисперсионным детектором *X-max 80 мм<sup>2</sup>* фирмы *OXFORD INSTRUMENTS*. Показано, что  $SiO_2$  в пыли представлен в виде сферообразных частиц со средним диаметром 100 нм (рисунок 1) [1].



*Рисунок 1 – Электронное изображение частицы пыли циклонов (АО «Кремний»)*

Согласно производственным данным пыль АО «Кремний» (таблица 1) содержит диоксид кремния в среднем 86 % (результаты рентгенофлуоресцентного анализа, выполненного с помощью прибора *ARL-9900* (США) и химического гравиметрического анализа); также были проведены исследования методом сканирующей микроскопии [1, 6].

Исходя из данных таблицы 1, пыль газоочистки руднотермической печи может рассматриваться в качестве составляющей шихты как дополнительной к основному сырью, поскольку в основном она представлена сферообразными частицами  $SiO_2$ .

*Таблица 1 – Химический состав пыли газоочистки АО «Кремний»*

Наименование компонентов											
$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$C_{св.}$	$Na_2O$	$SO_3$	$P_2O_5$	$K_2O$	$TiO_2$	$SiC$
Содержание, % мас.											
86,3	0,37	0,30	1,4	1,20	5,8	0,07	0,14	0,12	0,28	0,02	4,15

Таким образом, можно сделать вывод о том, что пылевые техногенные материалы кремниевого производства, улавливаемые системой газоочистки, целесообразно использовать повторно в качестве добавки к основному сырью для выплавки кремния, что позволит утилизировать техногенные отходы и улучшить экологическую обстановку в зоне промышленного производства [5, 6].

Для более подробного изучения техногенных материалов кремниевого производства нами был исследован и шлам газоочистки. Данный вид техногенного сырья имеет более мелкий размер частиц, чем пыль газоочистки. Шлам также содержит значительное количество сфероидизированных частиц  $SiO_2$  (рисунок 2). В целом химические составы пыли и шлама газо-

очистки схожи (таблица 2), данные рентгенофазового анализа, получены на спектрометре S8 TIGER (Германия) [5].

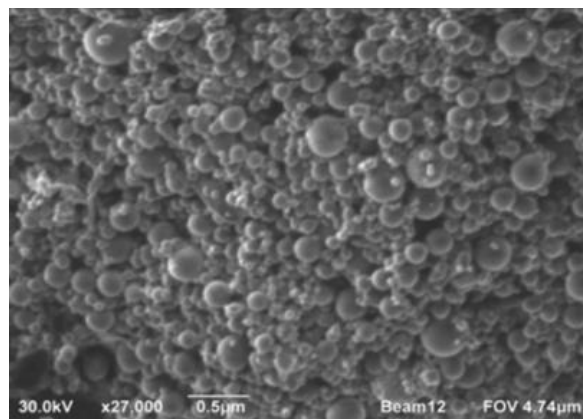


Рисунок 2 – Электронное изображение частицы шлама газоочистки (АО «Кремний»)

Таблица 2 – Химический состав шлама газоочистки АО «Кремний»

Наименование компонентов											
$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Cl$	$Na_2O$	$SO_3$	$K_2O$	$ZnO$	$MnO$	$CuO$
Содержание, % мас.											
95,7	0,13	0,05	0,33	0,13	0,05	1,42	1,62	0,27	$39 \cdot 10^{-4}$	$75 \cdot 10^{-4}$	$34 \cdot 10^{-4}$

Как видно из таблицы 2, шлам газоочистки в основном представлен  $SiO_2$ , что еще раз доказывает возможность использования данного вида техногенных материалов в качестве сырьевой составляющей шихты для получения кремния [5].

Однако непосредственная загрузка в руднотермическую печь мелкофракционных материалов невозможна из-за восходящего газового потока, поэтому перед использованием их необходимо окомковывать. В связи с этим нами были проведены исследования по разработке методики окомкования данных мелкодисперсных шихтовых материалов с целью их возврата в технологический процесс получения кремния для снижения экологической нагрузки на окружающую среду и улучшения условий труда [5].

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований нами рекомендована принципиальная технологическая схема производства кремния с использованием техногенного сырья кремниевого и алюминиевого производств с организацией дополнительной стадии окомкования мелкофракционных шихтовых материалов (рисунок 3) [5, 9].

В качестве шихтовых компонентов нами были взяты пыль и шлам газоочистки как кремнеземсодержащее сырье (в соотношении 1:1), смеси древесного угля и нефтекокса (производства АО «АНХК» г. Ангарск) в качестве углеродистого восстановителя. В качестве связующего было использовано жидкое стекло [8] ( $pH$  – 11,4; плотность – 1,47; силикатный модуль – 2,96), согласно ГОСТ 13078–81, которое характеризуется достаточными адгезион-

ными свойствами для образования прочных окомкованных композиций. Кроме того, данный вид связующего обладает избытком щелочи – это важно для протекания

следующей экзотермической реакции [5, 7]:

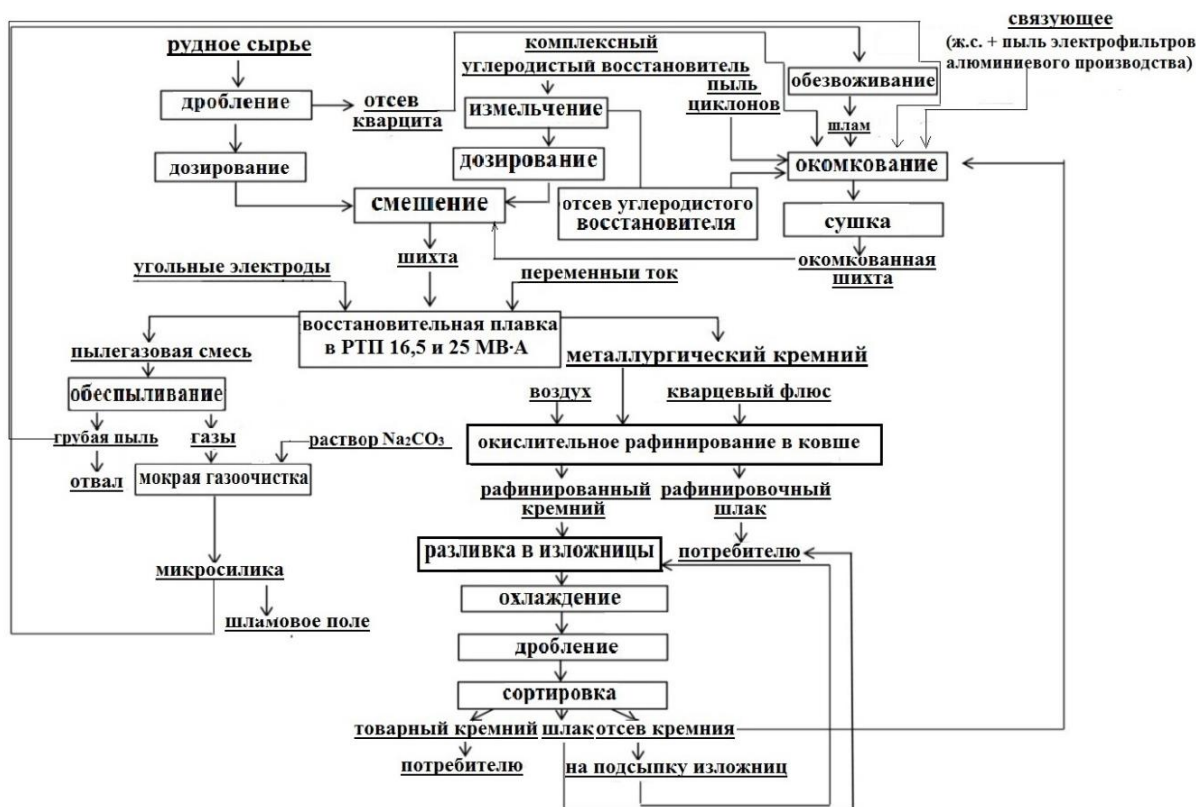
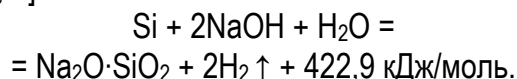


Рисунок 3 – Технологическая схема получения металлургического кремния с организацией дополнительной стадии окомкования мелкофракционных шихтовых материалов

При взаимодействии едкого натра и частиц мелкофракционного элементарного кремния происходит активное выделение водорода, что является основой для образования пористой структуры окомкованной шихты [5, 8, 3].

Поэтому в качестве добавки элементарного кремния к жидкому стеклу для образования пористой структуры шихты нами использовался еще один вид техногенных материалов – мелкокристаллический отсев кремния.

Для того чтобы использовать окомкованную шихту в руднотермической печи, необходимо учитывать, что данный вид материала должен обладать повышенной прочностью и достаточной пористостью [5].

По результатам экспериментов по испытанию на прочность образцов окомкованной шихты рекомендовано следующее соотношение компонентов в шихте нового состава, % мас., соответственно: пыль и шлам газоочистки кремниевого производства (в соотношении 1:1) – 24-27; углеродистый восстановитель (смесь нефтекокса и древесного угля в соотношении 1:1) – 51-53; отсев мелкофракционного кремния – 4-5; связующее (жидкое стекло и пыль электрофильтров алюминиевого производства в соотношении 4:1) – 14-15. При данных условиях коэффициент сбрасывания составит в среднем 82,5 % [5]. Также, в проведенных ранее исследованиях по окомкованию шихты по близкой методике указы-

валось на стабильный карботермический процесс при использовании шихты с пористостью 35–47,1 % [5, 8].

Поэтому в окомкованной шихте нами были определены пористость (ГОСТ 25732–88) и плотность (ГОСТ 2409–95). В результате измерений было установлено, что окомкованные композиции, полученные по предлагаемой методике, имеют пористую структуру (45,5 %), что обуславливает наличие у материала хорошо развитой активной поверхности, а также обладают кажущейся плотностью ( $1100 \text{ кг/см}^3$ ), что позволяет считать, что при использовании исследуемой окомкованной шихты весь технологический процесс выплавки кремния будет стабильным [5,11].

### **Заключение**

По результатам исследований химического состава пылевых выбросов кремниевого производства рекомендовано использование данных материалов (с содержанием  $\text{SiO}_2$  86,3–95,7 %) в качестве добавки к

основному сырью с целью утилизации данного вида отходов, улучшая тем самым условия труда, а также снижая экологическую нагрузку на близлежащие регионы.

Однако данный вид кремнеземсодержащего сырья имеет мелкофракционную структуру, из-за чего его необходимо предварительно окомковывать.

По результатам проведенных испытаний рекомендовано следующее соотношение компонентов в шихте нового состава, % мас., соответственно: пыль и шлам газоочистки кремниевого производства (в соотношении 1:1) – 24-27; углеродистый восстановитель (смесь нефтекокса и древесного угля в соотношении 1:1) – 51-53; отсеб мелкофракционного кремния – 4-5; связующее (жидкое стекло и пыль электрофильтров алюминиевого производства в соотношении 4:1) – 14-15. Также рекомендована принципиальная технологическая схема с организацией дополнительной стадии окомкования пылевых отходов кремниевого производства.

### **Библиографический список**

1. Иванчик Н.Н. Исследование и разработка процессов выделения целевых продуктов из мелкодисперсных отходов кремниевого производства // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2. С. 123-127.
2. Катков О.М. Причины потерь кремния при выплавке кварцита в дуговой электропечи // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 1994. № 4. С. 3-5.
3. Kloytz V. E., Nemtchinova N. V., Chernyahovsky L. V. The application of agglomeration and briquetting during silicon smelting to improve its quality // 4th Conference on Environment and mineral Processing. 1998. P. 113-118.
4. Kondrat`ev V. V., Nemchinova N. V., Ivanov N. A., Ershov V. A., Sysoev I. A. New production solutions processing silicon and aluminum production waste // Metallurgist. 2013. Vol. 57. No. 5-6. P. 455-459.
5. Леонова М. С. Разработка технологии подготовки шихты из техногенного сырья для производства кремния: дис... кан. техн. наук: 05.16.02. Иркутск, 2017. 202 с.
6. Leonova M. S., Timofeeva S. S. Environmental and economic damage from the dust waste formation in the silicon production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 229 (1). doi: 10.1088/1755-1315/229/1/012022.
7. Немчинова Н. В., Клец В. Э. О возможности использования жидкого стекла в качестве связующего для брикетов в производстве кремния // Обогащение руд. 1998. С. 101-105.
8. Немчинова Н. В. Подготовка шихты для получения кремния высокой чистоты карботермическим способом: дис... канд. техн. наук : 05.16.03. Иркутск, 1998. 151 с.

9. Nemchinova N. V., Leonova M. S., Tyutrin A. A., Bel'skii S. S. Optimizing the charge pelletizing parameters for silicon smelting Based on technogenic materials // Metallurgist. 2019. Vol. 63. No. 1-2. P. 115-122.
10. Пивоваров Ю. П., Королик В. В., Подунова Л. Г. Гигиена и экология человека: учебник для образоват. учреждений сред. проф. образования; под ред. Ю. П. Пивоварова. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 400 с.
11. Равич Б. М. Брикетирование руд. М.: Недра, 1982. 183 с.
12. Черняховский Л. В. Использование отходов кремниевых, алюминиевых и химических производств при выплавке кремния и ферросилиция // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов и ученых алюминиевой, магниевой и электродной промышленности. СПб, 2000. С. 79.

### **Referenses**

1. Ivanchik N.N. Issledovanie i razrabotka processov vydeleniya celevykh produktov iz melkdispersnykh othodov kremnievogo proizvodstva // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2015. № 2. S. 123-127.
2. Katkov O.M. Prichiny poter' kremniya pri vyplavke kvarcита v dugovoj elektropechi // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Cvetnaya metallurgiya. 1994. № 4. S. 3-5.
3. Kloytz V. E., Nemtchinova N. V., Chernyahovsky L. V. The application of agglomeration and briquetting during silicon smelting to improve its quality // 4th Conference on Environment and mineral Processing. 1998. P. 113-118.
4. Kondrat'ev V. V., Nemchinova N. V., Ivanov N. A., Ershov V. A., Sysoev I. A. New production solutions processing silicon and aluminum production waste // Metallurgist. 2013. Vol. 57. No. 5-6. R. 455-459.
5. Leonova M. S. Razrabotka tekhnologii podgotovki shihty iz tekhnogennogo syr'ya dlya proizvodstva kremniya: dis... kan. tekhn. nauk: 05.16.02. Irkutsk, 2017. 202 s.
6. Leonova M. S., Timofeeva S. S. Environmental and economic damage from the dust waste formation in the silicon production // IOP Sonference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 229 (1). doi: 10.1088/1755-1315/229/1/012022.
7. Nemchinova N. V., Klec V. E. O vozmozhnosti ispol'zovaniya zhidkogo stekla v kachestve svyazuyushchego dlya briketov v proizvodstve kremniya // Obogashchenie rud. 1998. S. 101-105.
8. Nemchinova N. V. Podgotovka shihty dlya polucheniya kremniya vysokoy chistoty karbotermicheskim sposobom: dis... kand. tekhn. nauk : 05.16.03. Irkutsk, 1998. 151 s.
9. Nemchinova N. V., Leonova M. S., Tyutrin A. A., Bel'skii S. S. Optimizing the charge pelletizing parameters for silicon smelting Based on technogenic materials // Metallurgist. 2019. Vol. 63. No. 1-2. R. 115-122.
10. Пивоваров Ю. П., Королик В. В., Подунова Л. Г. Гигиена и экология человека: учебник для образоват. учреждений сред. проф. образования; под ред. Ю. П. Пивоварова. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с.
11. Равич Б. М. Брикетирование руд. М.: Недра, 1982. 183 с.
12. Черняховский Л. В. Использование отходов кремниевых, алюминиевых и химических производств при выплавке кремния и ферросилиция // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов и ученых алюминиевой, магниевой и электродной промышленности. СПб, 2000. С. 79.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 02.03.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 19.03.2022*

*Принята к публикации / Accepted 08.04.2022*

*© М.С. Тепина, 2022*

---

**Сведения об авторе**  
**List of Author**

---

*Тепина Мария Сергеевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Иркутского национального исследовательского технического университета.

*Maria Tepina* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University.

Ссылка для цитирования: *Тепина М.С.* Технология производства кремния с использованием окомкования техногенных пылевых материалов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 23 - 29. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-23-29.

For citation: *Tepina M.S.* Silicon Production Technology Using Pelletization of Technogenic Dust Materials // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 23 - 29. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-23-29.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ АМПИЦИЛЛИНА НА ДИОКСИДЕ СВИНЦА, ОСАЖДЕННОМ НА ТИТАНОВОЙ ПЛАСТИНЕ

З.М. Алимурзоева<sup>1</sup>, М.М. Магомедов<sup>2</sup>, А.Б. Исаев<sup>2</sup>, Г.М. Абакаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала  
367000, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пл. Ленина, 1

<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет, Махачкала  
367000, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а

<sup>3</sup>Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

<sup>1</sup>farmdigma@yandex.ru; <sup>2</sup>abdul-77@yandex.ru

**Аннотация.** Фармацевтические предприятия, медицинские центры и больницы – потенциальные источники выбросов антибиотиков в водоемы, что оказывает значительное влияние на состав воды. Разработка эффективных методов удаления антибиотиков из сточных вод является актуальной проблемой. В работе исследованы электрохимическое окисление ампициллина и его деструкция. Для электрохимического окисления ампициллина использовали электрод на основе диоксида свинца на титановой подложке. Получены вольтамперные кривые с линейной разверткой потенциала. Установлено, что интенсивное снижение концентрации ампициллина в растворе за счет электрохимического окисления происходит в основном за первые 30 минут электролиза и достигает 83%.

**Ключевые слова:** ампициллин, антибиотик, диоксид свинца, образование кислорода, скорость окисления, титановая подложка, электрод, электролиз, электрохимическое окисление.

**Abstract.** Pharmaceutical plants, medical centers and hospitals are potential sources of antibiotic releases into water bodies, which have a significant impact on water composition. The development of effective methods for removing antibiotics from wastewater is an urgent problem. In this work, the electrochemical oxidation of ampicillin and its destruction were studied. For the electrochemical oxidation of ampicillin, an electrode based on lead dioxide on a titanium substrate was used. Current-voltage curves with a linear sweep of the potential are obtained. It has been established that an intensive decrease in the concentration of ampicillin in solution due to electrochemical oxidation occurs mainly in the first 30 minutes of electrolysis and reaches 83%.

**Key words:** ampicillin, antibiotic, lead dioxide, oxygen formation, oxidation rate, titanium substrate, electrode, electrolysis, electrochemical oxidation.

## Введение

В результате развития химической промышленности за последние годы синтезированы тысячи органических соединений, которые по способности окисляться под воздействием естественных природных процессов можно разделить на стойкие, трудноокисляемые и легкоокисляемые. Особое место в этом ряду занимают фармацевтические препараты [1, 2].

Наличие антибиотиков в поверхностных водах является серьезной экологической проблемой [3, 4]. Фармацевтическая промышленность, медицинские центры (особенно, больницы) или простые гражданские объекты представляют собой основные точки выброса антибиотиков в окружающую среду и оказывают значительное влияние на физический, химический и биологический состав водоемов. В частности, больничные сточные воды оказывают первостепенное влияние на развитие резистентных штаммов бактерий [5-8].

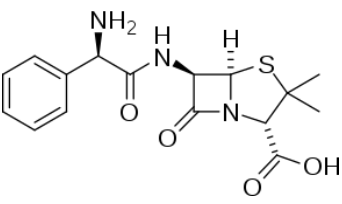
Невосприимчивость, то есть резистентность, может возникнуть при любом контакте бактериальной популяции с антибиотиком, будь то в почве, водоеме или в

организме-хозяине. Подавляющее большинство бактерий в результате этого контакта погибает, однако отдельные экзemplяры в силу своих генетических особенностей выживают, после чего начинают стремительно размножаться, реализуя свое селективное преимущество. Неконтролируемое распространение антибиотиков в окружающей среде рано или поздно обязательно приведет к возникновению устойчивых к ним новых штаммов бактериальных инфекционных агентов [9]. Разработка эффективных методов удаления антибиотиков из сточных вод является актуальной проблемой. Исходя из этого, в данной работе исследовано электрохимическое окисление одного из антибиотиков – ампициллина.

## Методика эксперимента

В работе использовался антибиотик ампициллин, из которого в медицинской практике готовят раствор без предварительной очистки. Формула антибиотика ампициллина и его основные характеристики приведены в таблице 1.

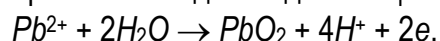
Таблица 1 – Основные характеристики ампициллина

Название антибиотика	Химическая формула	Брутто формула	Молекулярная масса, г/моль
Ампициллин (2S,5R,6R) - 6 - [(R)-2-амино-2 фенилацетиламино]- 3,3 диметил - 7 - оксо - 4 тиа - 1 - азабицикло [3.2.0] гептан - 2 карбоновая кислота		$C_{16}H_{19}N_3O_4S$	349,406

Для электрохимического окисления ампициллина использовали электрод на основе  $PbO_2$  на титановой подложке. Осаждение диоксида свинца осуществляли на предварительно очищенную титановую пластину толщиной 1 мм. Титановую пластину перед электрохимическим осаждением  $PbO_2$  подвергали ультразвуковой обработке в растворе этилового спирта в те-

чение 1 часа. Для электрохимического осаждения  $PbO_2$  в работе был использован раствор нитрата свинца. Установка для получения  $Ti/PbO_2$  электрода представлена на рисунке 1.

При электролизе раствора нитрата свинца происходит окисление ионов свинца с образованием диоксида свинца:





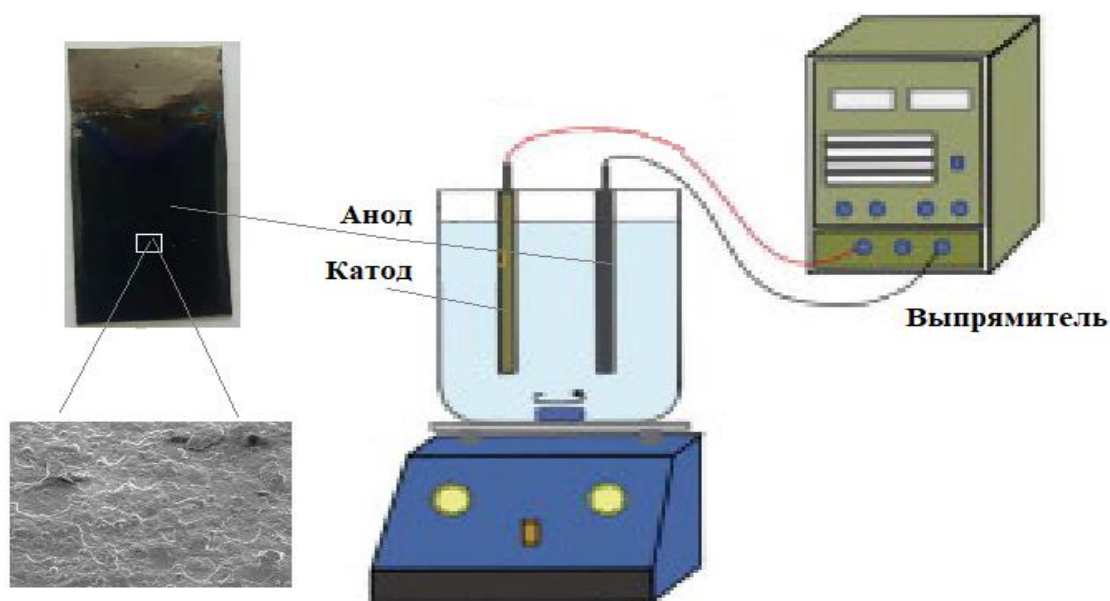


Рисунок 1 – Схема электрохимического получения  $Ti/PbO_2$  электрода

Все электрохимические измерения проводились с помощью потенциостата *IPC Pro MF* производства ООО «Вольта» (Санкт-Петербург) с использованием обычной трехэлектродной ячейки при комнатной температуре. В качестве рабочего электрода служил электрод  $Ti/PbO_2$ , приготовленный заранее по приведенной выше методике, в качестве вспомогательного электрода использовали платиновую пластину, а электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод ( $Ag/AgCl$ ). Вольтамперометрия с линейной разверткой потенциала была использована для определения потенциала выделения кислорода и окисления ампициллина в 0,1 М растворе

$Na_2SO_4$ . Вольтамперные кривые снимались с различной скоростью развертки в зависимости от задачи исследований.

#### Обсуждение результатов

Структура и морфология образцов электрода на основе диоксида свинца была исследована с использованием сканирующей электронной микроскопии. На рисунке 2 представлена фотография поверхности электрода на основе диоксида свинца. Как видно из рисунка, диоксид свинца сплошным слоем покрывает поверхность титановой пластины. Толщина пленки диоксида свинца составляет примерно 100 – 200 нм.

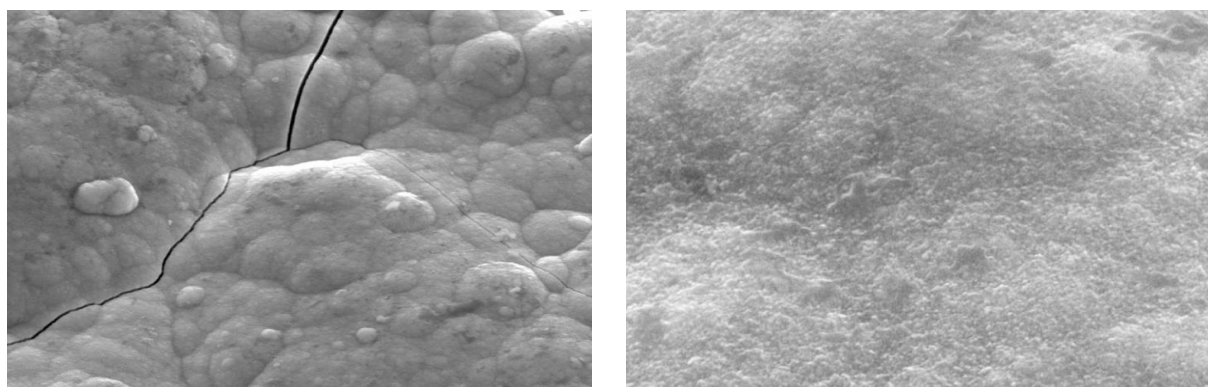


Рисунок 2 – Фотография пленки  $PbO_2$ , полученная на сканирующем электронном микроскопе

На рисунке 3 приведены спектры рентгеновской дифракции для электрода на основе диоксида свинца. Можно заметить, что дифракционная структура образца электрода соответствует образованию

бета модификации диоксида свинца с характерными дифракционными пиками при  $25.4^\circ$ ,  $32.0^\circ$ ,  $36.2^\circ$  и  $49.0^\circ$ , которые относятся к (110), (101), (200) и (211) поверхностям кристалла, соответственно.

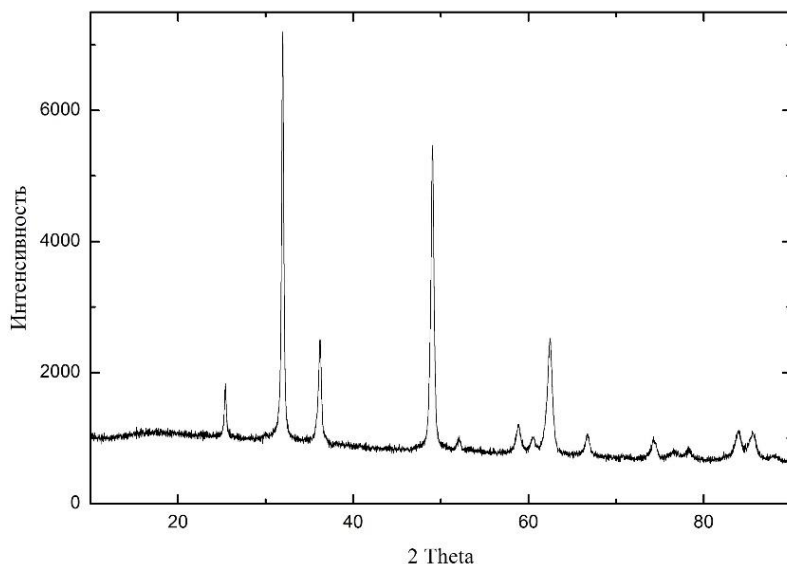


Рисунок 3 – Рентгенограмма пленки диоксида свинца, полученной на поверхности титановой фольги

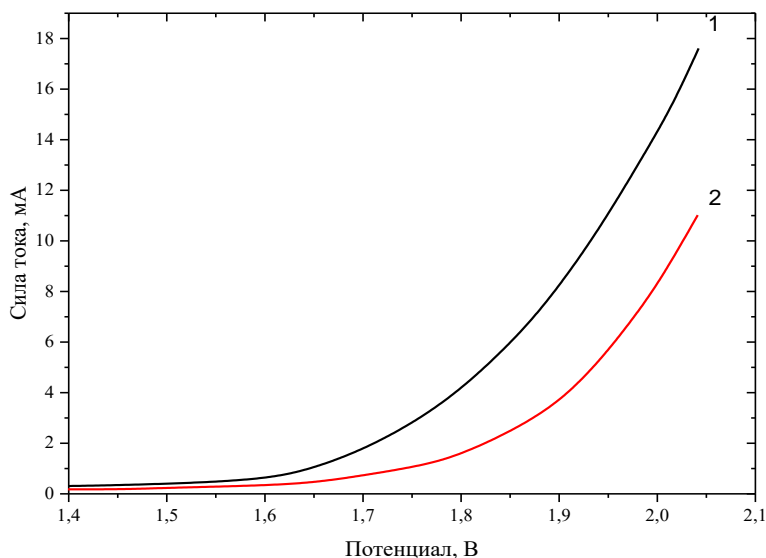
Электрохимическое окисление ампициллина исследовали путем получения вольтамперных кривых с линейной разверткой потенциала. На рисунке 4 представлены линейные вольтамперные кривые окисления ампициллина на полученном нами электроде.

Вольтамперные кривые позволяют определить, какие именно процессы протекают на поверхности  $Ti/PbO_2$  электрода

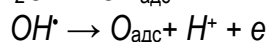
при подаче поляризации при различных потенциалах.

Как видно из рисунка 4, интенсивное выделение кислорода на  $Ti/PbO_2$  электроде (кривая 2) происходит, начиная с потенциала 1,85 В. Окисление органических соединений на электродах происходит при высоких анодных потенциалах и сопровождается выделением кислорода.

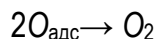
Рисунок 4 – Вольтамперные кривые на  $Ti/PbO_2$  электроде в фоновом растворе  $0,1\text{ M Na}_2\text{SO}_4$  (2) и в растворе, содержащем ампициллин с концентрацией  $10\text{ мг/л}$  (1) (скорость сканирования потенциала  $10\text{ мВ/с}$ )



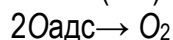
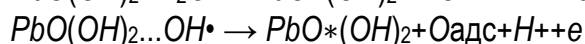
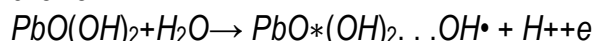
Общий механизм, приводящий к образованию кислорода на поверхности электрода, может быть записан следующим образом



с последующей химической рекомбинацией кислорода:



Образование кислорода идет через механизм формирования активных центров  $PbO(OH)_2$ , расположенных в слое гидратированного диоксида свинца на границе раздела  $PbO_2$ /электролит согласно схеме:



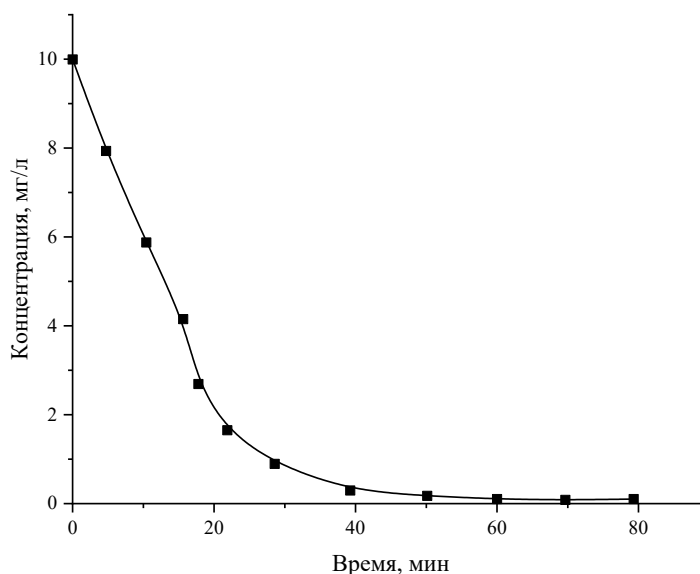
Полученные нами данные подтверждают, что окисление органических соединений протекает при потенциалах выделения кислорода, что видно из рисунка 4 (кривая 1). Добавление ампициллина в раствор 0,1 М  $Na_2SO_4$  приводит в росту тока на вольтамперной кривой. При сравнении тока на вольтамперных кривых, например, при потенциале 1,9 В ток на вольтамперной кривой увеличивается примерно в 2,6 раз, что свидетельствует об интенсивном окислении ампициллина на поверхности электрода. Окисление ор-

ганических соединений на металл-оксидных электродах происходит через формирование гидроксильного радикала на поверхности электрода.

Нами также была исследована электрохимическая деструкция ампициллина с использованием  $Ti/PbO_2$  в качестве электрода. На рисунке 5 приведена зависимость концентрации ампициллина в растворе сульфата натрия от времени электролиза при плотности тока 0,3 А/см<sup>2</sup>. Концентрацию ампициллина определяли с использованием спектрофотометрического метода получения кривых поглощения в УФ-области. Как видно из рисунка 5 идет интенсивное снижение концентрации ампициллина за первые полчаса электролиза. Дальнейшее увеличение электролиза до 80 минут приводит к уменьшению эффективности электрохимического окисления ампициллина, что связано с уменьшением концентрации антибиотика в растворе и расходом подаваемого на электролиз электрического тока на выделение кислорода.

Спектры поглощения раствора ампициллина до и после электролиза из данных которых определяли концентрацию ампициллина приведены на рисунке 6.

Рисунок 5 – Зависимость концентрации ампициллина от времени электролиза ( $C_{ам.} = 10$  мг/л; 0,1 М  $Na_2SO_4$ ;  $i = 0,3$  А/см<sup>2</sup>)



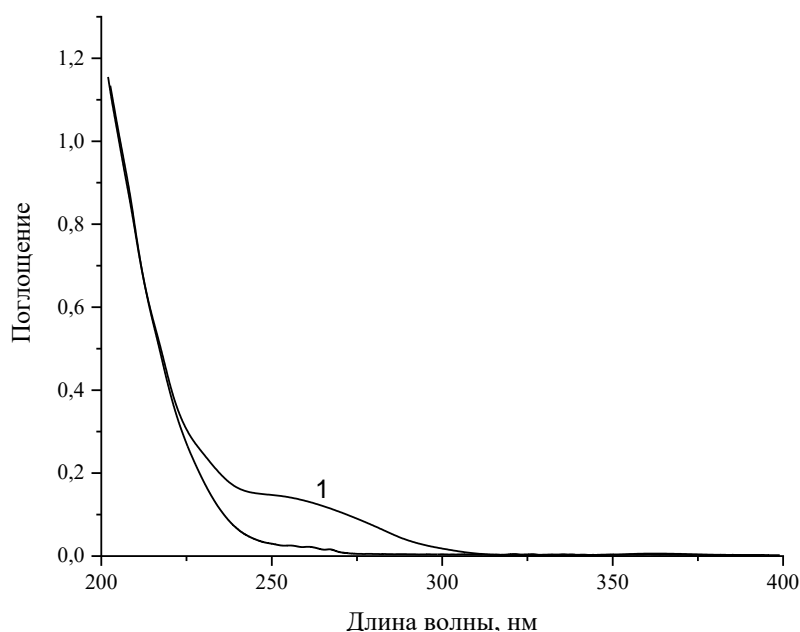


Рисунок 6 – Спектры поглощения раствора ампициллина до (кривая 1) и после электролиза (кривая 2) ( $C_{ам.} = 10$  мг/л;  $0,1$  М  $Na_2SO_4$ ;  $i = 0,3$  А/см<sup>2</sup>)

Исходя из полученной кривой зависимости концентрации ампициллина от времени, были рассчитаны кинетические параметры процесса электрохимического окисления. Для этого строили логарифмическую зависимость от времени электролиза, предполагая, что порядок реакции окисления ампициллина соответствует единице.

При определении константы скорости предполагалось, что скорость реакции соответствует первому порядку, что подтверждает линейная зависимость  $\ln \frac{C}{C_0}$  от времени. Скорость фотокаталитического окисления хромового коричневого определяли по формуле:

$$r_0 = -\frac{d[AM]}{dt} = k \cdot [AM]_0$$

где  $r_0$  – начальная скорость окисления ампициллина,  $k$  – константа скорости электрохимического окисления ампициллина,  $[AM]_0$  – начальная концентрация ампициллина в растворе.

Рассчитанные значения константы скорости, начальной скорости электрохимического окисления ампициллина и степени очистки раствора от антибиотика, исходя из значений поглощения раствора при длине волны 260 нм, приведены в таблице 2.

В первые 30 минут электролиза наблюдается почти прямолинейная зависимость концентрации ампициллина от времени. При осуществлении электрохимического окисления ампициллина на  $Ti/PbO_2$  электроде происходит окисление 83% антибиотика и при этом скорость окисления составляет  $0,864$  мг·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>.

Таблица 2 – Кинетические параметры электрохимического окисления ампициллина ( $C_{ам.} = 10$  мг/л;  $0,1$  М  $Na_2SO_4$ ;  $i = 0,3$  А/см<sup>2</sup>, время электролиза 30 мин)

Начальная скорость, мг·л <sup>-1</sup> ·мин <sup>-1</sup>	Константа скорости, мин <sup>-1</sup>	Степень очистки, %
0,864	$8,7 \cdot 10^{-3}$	83%

### **Выводы**

1. Получен электрод на основе  $\beta$ - $PbO_2$ , электроосажденный на поверхности титана, что подтверждается данными дифракционной структуры образца с характерными дифракционными пиками при  $25.4^\circ$ ,  $32.0^\circ$ ,  $36.2^\circ$  и  $49.0^\circ$ , которые относятся к (110), (101), (200) и (211) поверхностям кристалла, соответственно.

2. Показано, что электрохимическое окисление ампициллина на  $Ti/PbO_2$  электроде происходит при высоких анодных потенциалах в растворе  $0,1 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ , что

доказано ростом тока на вольтамперной кривой. При потенциале  $1,9 \text{ В}$  ток на вольтамперной кривой примерно в  $2,6$  раз выше по сравнению с вольтамперной кривой в растворе фона.

3. Установлено, что интенсивное снижение концентрации ампициллина в растворе за счет электрохимического окисления происходит в основном за первые  $30$  минут электролиза и достигает  $83\%$ , при этом скорость окисления составляет  $0,864 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{мин}^{-1}$ .

### **Библиографический список**

1. Homem V., Santos L., Degradation and removal of antibiotics from aqueous matrices // J. of Environmental Management. 2011. Vol. 92. P. 2304-2347
2. Influence of seasonal and operating conditions on the rejection of pharmaceutical active compounds by RO and NF membranes / S. Gur-Reznik, I. Koren-Menashe, L. Heller-Grossman, O. Rufel, C. G. Dosoretz // Desalination. 2011. Vol. 277. P. 250-256.
3. Устинова М.Н. Окислительная деструкция как способ инактивации экопеллютантов фармацевтического происхождения: дис.... канд. хим. наук. Белгород, 2012. С. 11-15.
4. Соложенко Е.Г., Соболева Н.М., Гончарук В.В. Применение каталитической системы  $H_2O_2$ - $Fe^{2+}$ ( $Fe^{3+}$ ) при очистке воды от органических соединений // Химия и технология воды. 2004. Т. 26, № 3. С. 219-246.
5. Khetan S.K., Collins T.J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry // Chem. Rev. 2007. V. 107, P. 2319-2364.
6. Evgenidou E.N., Konstantinou I.K., Lambropoulou D.A. Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: a review // Sci. Total Environ. 2015. V. 505, P. 905-926.
7. Loraine G.A., Pettigrove M.E. Seasonal variations in concentrations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and reclaimed wastewater in Southern California // Environ. Sci. Technol. 2006. V. 40, P. 687-695.
8. Daughton C.G., Ternes T.A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change // Environ. Health Perspect. 1999. V.107, P. 907- 938.
9. Homem V., Santos L. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices: A review // J. Environ. Manag. 2011. V. 92, P. 2304-2347.

### **Referenses**

1. Homem V., Santos L., Degradation and removal of antibiotics from aqueous matrices // J. of Environmental Management. 2011. Vol. 92. P. 2304-2347
2. Influence of seasonal and operating conditions on the rejection of pharmaceutical active compounds by RO and NF membranes / S. Gur-Reznik, I. Koren-Menashe, L. Heller-Grossman, O. Rufel, C. G. Dosoretz // Desalination. 2011. Vol. 277. P. 250-256.
3. Ustinova M.N. Okislitel'naya destrukciya kak sposob inaktivacii ekopollyutantov farmaceuticheskogo proiskhozhdeniya: dis.... kand. him. nauk. Belgorod, 2012. S. 11-15.
4. Solozhenko E.G., Soboleva N.M., Goncharuk V.V. Primenenie kataliticheskoy sistemy  $N_2O_2$ - $Fe^{2+}$ ( $Fe^{3+}$ ) pri ochistke vody ot organicheskikh soedinenij // Himiya i tekhnologiya vody. 2004. Т. 26, № 3. S. 219-246.

5. Khetan S.K., Collins T.J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry // Chem. Rev. 2007. V. 107, P. 2319-2364.

6. Evgenidou E.N., Konstantinou I.K., Lambropoulou D.A. Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: a review // Sci. Total Environ. 2015. V. 505, P. 905-926.

7. Loraine G.A., Pettigrove M.E. Seasonal variations in concentrations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and reclaimed wastewater in Southern California // Environ. Sci. Technol. 2006. V. 40, P. 687-695.

8. Daughton C.G., Ternes T.A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change // Environ. Health Perspect. 1999. V.107, P. 907- 938.

9. Homem V., Santos L. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices: A review // J. Environ. Manag. 2011. V. 92, P. 2304-2347.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 28.05.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 15.06.2022*

*Принята к публикации / Accepted 20.06.2022*

*© З.М. Алимирзоева, М.М. Магомедов, А.Б. Исаев, Г.М. Абакаров, 2022*

---

### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Алимирзоева Зарема Мирзамагомедовна* – старший преподаватель кафедры общей и биологической химии Дагестанского государственного медицинского университета.

*Zarema Alimirzoeva* – Senior Lecturer, Department of General and Biological Chemistry, Daghestan State Medical University.

*Магомедов Магомедрасул Магомедович* – магистрант кафедры неорганической химии и химической экологии Дагестанского государственного университета.

*Magomedrasul Magomedov* – Master student of the Department of Inorganic Chemistry and Chemical Ecology, Daghestan State University.

*Исаев Абдулгалим Будаевич* – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой неорганической химии и химической экологии Дагестанского государственного университета.

*Abdulgalim Isaev* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Inorganic Chemistry and Chemical Ecology, Daghestan State University.

*Абакаров Гасан Магомедович* – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии Дагестанского государственного технического университета.

*Gasan Abakarov* – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алимирзоева З.М., Магомедов М.М., Исаев А.Б., Абакаров Г.М.* Электрохимическое окисление ампициллина на диоксиде свинца, осажденном на титановой пластине // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 30 - 37. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-30-37.

For citation: *Alimirzoeva Z.M., Magomedov M.M., Isaev A.B., Abakarov G.M.* Electrochemical oxidation of ampicillin on lead dioxide deposited on a titanium plate // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 30 - 37. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-30-37.

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ВО ВРЕМЕНИ

Н.В. Глотов, А.О. Ламанова, С.М. Кузнецов

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск  
630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191  
glotoff.n@yandex.ru

**Аннотация.** С помощью шагового регрессионного метода построена модель влияния коэффициента готовности на коэффициент использования карьерных экскаваторов по времени работы. С помощью коэффициента использования по времени определяется эксплуатационная производительность машин и организационно-технологическая надежность производства работ.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, надежность, модель, доверительный интервал.

**Abstract.** Using the stepwise regression method, a model of the influence of the availability factor on the utilization rate of mining excavators by operating time was built. With the help of the time utilization factor, the operational productivity of machines and the organizational and technological reliability of the work are determined.

**Key words:** mining excavator, reliability, model, confidence interval.

### Введение

Для повышения качества календарного планирования работы карьерных экскаваторов при добыче строительных материалов поставлена задача определения их эксплуатационных показателей [1 – 5].

Критерием оценки организационно-технологической надежности работы строительной машины может быть любой показатель работы, находящийся в выборке (производительность, продолжительность работ, энергоёмкость, себестоимость единицы продукции, прибыль и т.д.). Основным фактором организационно-технологической надежности работы карьерных экскаваторов является коэффици-

ент использования их во времени. Создана база данных по результатам натурных испытаний строительных машин.

### Экспериментальная часть

Произведена проверка выборок случайных величин (коэффициента использования машин по времени и коэффициента готовности) на соответствие закону распределения. Коэффициент готовности определялся по формуле

$$K_r = \frac{T_p}{T_p + T_n},$$

где  $T_p$  – суммарное время исправной работы машины в смену;  $T_n$  – суммарное время вынужденного простоя в смену.

Коэффициент использования машины по времени определялся по формуле

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_p}{T_c},$$

где  $T_p$  – продолжительность смены.

Данные расчета выборок коэффициента готовности ( $K_r$ ) и коэффициента использования экскаваторов по времени ( $K_{\text{ти}}$ ) с помощью программы *Sample* [1 – 3, 5, 6] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели выборок коэффициентов

Показатель	$K_{\text{ти}}$	$K_r$
Количество опытов, шт.	460	460
Уровень значимости	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	0,203	0,226
Максимальное значение фактора	0,978	1
Размах вариации	0,775	0,774
Выборочное среднее значение фактора	0,806	0,856
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,136	0,143
Вариации отклонения от среднего значения	0,0087	0,0096
Риск отклонения от среднего значения	0,0935	0,0978
Коэффициент вариации	16,86	16,73
Нормальное распределение		
Вычисленное значение критерия Пирсона	3,767	4,528
Табличное значение критерия Пирсона	14,068	14,068
Распределение Вейбулла		
Вычисленное значение критерия Пирсона	12,267	13,265
Табличное значение критерия Пирсона	14,068	14,068

Коэффициент использования машин по времени позволяет определить организационно-технологическую надежность эксплуатации машин на конкретном объекте. Проведенные ранее исследования показали, что коэффициент готовности экскаваторов значительно влияет на эксплуатационную производительность машин и организационно-технологическую надежность производства работ [1 – 5, 10].

### Результаты

В таблице 2 приведен пример модели коэффициента использования машин по времени и ее характеристики, рассчитанные с помощью программы *Modell* [4, 5, 6]. Данные по доверительному интервалу модели и таблица дисперсионного анализа определены с помощью программы *Diagram* [4, 5].

Таблица 2 – Характеристики модели коэффициента использования машин по времени

Показатель	$K_B = + 0,0037 + 0,9379 K_r$
Доля объясненной вариации, %	97,66
Коэффициент множественной корреляции	0,988
Средний отклик	0,806
Стандартная ошибка в % от среднего отклика	2,58
Стандартная ошибка	0,021
Общий F - критерий регрессии	19129
Табличное значение общего F- критерия	3,84



На рисунке 1 проиллюстрирована модель коэффициента использования машин во времени и ее доверительный интервал.

Кривая нормального распределения коэффициентов использования экскаваторов во времени показана на рисунке 2.

Следует отметить, что использование регрессионных уравнений (моделей) позволяет усовершенствовать процесс оценки организационно-технологических решений на конкретных объектах [2 – 5, 7 – 10].

Предложенный инструментарий для обоснования коэффициентов использования карьерных экскаваторов во времени, а, следовательно, и для обоснования эксплуатационной производительности работы с учетом организационно-технологической надежности их работы позволяет принимать управленческие решения с разумной надежностью.

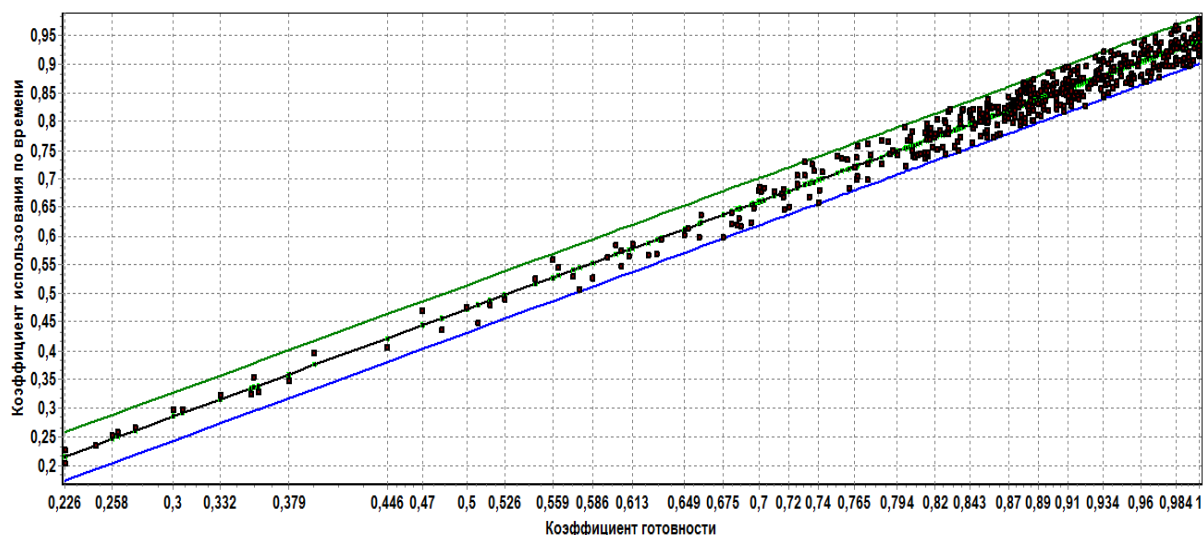


Рисунок 1 – Модель коэффициента использования машин во времени

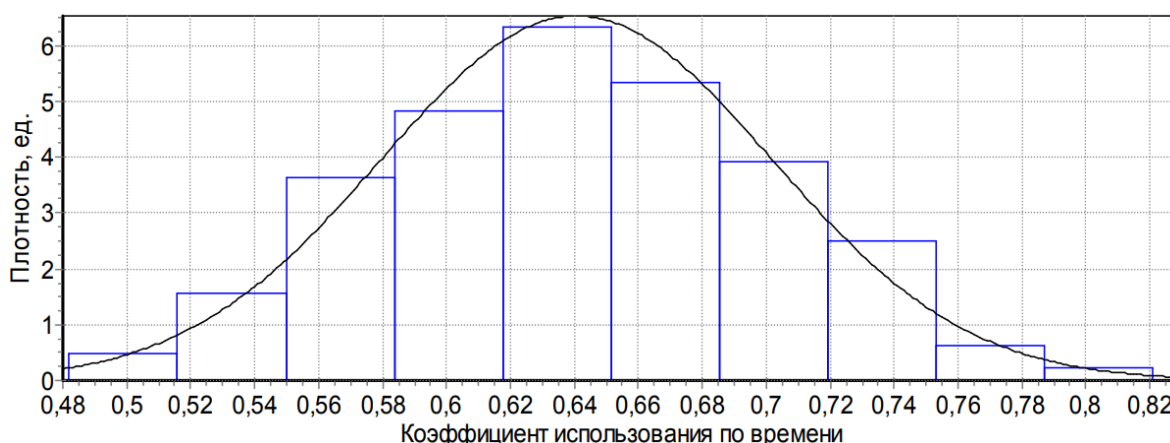


Рисунок 2 – Плотность распределения вероятностей коэффициента использования машин во времени

### Заключение

Проведенные исследования показали, что для оценки надежности систем, комплектов и отдельных машин показатели надежности не дают полной информации о

работе машин на конкретных объектах, так как они не учитывают технологию и организацию производства работ в конкретных производственных условиях. Поэтому целесообразно дополнить рассматриваемые

комплексные показатели технической надежности коэффициентом использования машин по времени.

Рекомендуется при оценке коэффициента использования машин во времени

рассматривать их комплексные показатели надежности, что способствует повышению надежности календарных графиков производства строительно-монтажных работ.

### **Библиографический список**

1. Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Васильев С.И. Оценка надежности работы роторных экскаваторов // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 1. С. 26–33.
2. Демиденко О.В., Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Серов М.Ю., Васильев С.И. Экономико-математическая модель работы стреловых кранов // Омский научный вестник. 2013. № 3 (119). С. 74 – 80.
3. Есина Н.А., Кузнецов С.М., Чулкова И.Л. Оценка ОТН работы строительных машин при производстве свайных работ в мерзлых грунтах // Строительные и дорожные машины. 2008. № 8. С. 11 – 14.
4. Кузнецов С.М. Повышение эффективности применения машин и механизмов в строительстве: монография. М.–Берлин: Директ–Медиа, 2015. 203 с.
5. Кузнецов С.М. Теория и практика формирования комплектов и систем машин в строительстве: монография. М: Директ–Медиа, 2015. 271 с.
6. Рогатин Ю.А., Кузнецов С.М. Экономико-математическая модель расчета на ЭВМ технико-экономических показателей зданий из сборного железобетона // Обзорная информация. М.: ВНИИТПИ, 1991. 64 с.
7. Седов В.А., Перцев В.П., Кузнецов С.М. Обоснование применения машин и механизмов для строительства сооружений // Транспортное строительство. 2004. № 2. С. 12 – 14.
8. Комаров А.А., Кузнецов С.М., Холомеева Н.В. Экономическое обоснование способов распределения грунта при вертикальной планировке площадки // Известия вузов. Строительство. 1998. № 2. С. 63–67.
9. Сироткин Н.А., Кузнецов С.М. Оценка обоснованности очередности строительства объектов методом имитационного моделирования // Известия вузов. Строительство. 2007. № 1. С. 81 – 86.
10. Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Васильев С.И. Организационно-технологическая надежность эксплуатации башенных кранов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 35 – 41.

### **References**

1. Anferov V.N., Kuznecov S.M., Vasil'ev S.I. Ocenka nadezhnosti raboty rotornykh ekskavatorov // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2014. № 1. S. 26–33.
2. Demidenko O.V., Anferov V.N., Kuznecov S.M., Serov M.YU., Vasil'ev S.I. Ekonomiko-matematicheskaya model' raboty strelovykh kranov // Omskij nauchnyj vestnik. 2013. № 3 (119). S. 74 – 80.
3. Esina N.A., Kuznecov S.M., Chulkova I.L. Ocenka OTN raboty stroitel'nykh mashin pri proizvodstve svajnykh работ v merzlykh gruntah // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008. № 8. S. 11 – 14.
4. Kuznecov S.M. Povyshenie effektivnosti primeneniya mashin i mekhanizmov v stroitel'stve: monografiya. M.–Berlin: Direkt–Media, 2015. 203 s.
5. Kuznecov S.M. Teoriya i praktika formirovaniya komplektov i sistem mashin v stroitel'stve: monografiya. M.: Direkt–Media, 2015. 271 s.
6. Rogatin YU.A., Kuznecov S.M. Ekonomiko-matematicheskaya model' rascheta na EVM tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej zdaniy iz sbornogo zhelezobetona // Obzornaya informaciya. M.: VNIINTPI, 1991. 64 s.
7. Sedov V.A., Percev V.P., Kuznecov S.M. Obosnovanie primeneniya mashin i mekhanizmov dlya stroitel'stva sooruzhenij // Transportnoe stroitel'stvo. 2004. № 2. S. 12 – 14.

8. Komarov A.A., Kuznecov S.M., Holomeeva N.V. Ekonomicheskoe obosnovanie sposobov raspredeleniya grunta pri vertikal'noj planirovke ploshchadki // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 1998. № 2. S. 63–67.

9. Sirotkin N.A., Kuznecov S.M. Ocenka obosnovannosti ocherednosti stroitel'stva ob"ektov metodom imitacionnogo modelirovaniya // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2007. № 1. S. 81 – 86.

10. Anferov V.N., Kuznecov S.M., Vasil'ev S.I. Organizacionno-tehnologicheskaya nadezhnost' ekspluatacii bashennyh kranov // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2013. № 2 (18). S. 35 – 41.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 13.05.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 21.06.2022*

*Принята к публикации / Accepted 24.06.2022*

*© Н.В. Глотов, А.О. Ламанова, С.М. Кузнецов, 2022*

---

### **Сведения об авторах**

### **List of Authors**

---

*Глотов Никита Викторович* – студент факультета управления транспортно-технологическими комплексами Сибирского государственного университета путей сообщения.

*Nikita Glotov* – Student of the Department of Management of Transport and Technological Complexes, Siberian State Transport University.

*Ламанова Алена Олеговна* – студентка факультета промышленного и гражданского строительства Сибирского государственного университета путей сообщения.

*Alena Lamanova* – Student of the Faculty of Industrial and Civil Engineering, Siberian State Transport University.

*Кузнецов Сергей Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и экономики строительства Сибирского государственного университета путей сообщения.

*Sergey Kuznetsov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, Organization and Economics of Construction, Siberian State Transport University.

Ссылка для цитирования: *Глотов Н.В., Ламанова А.О., Кузнецов С.М.* Построение модели коэффициента использования карьерных экскаваторов во времени // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 38 - 42. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-38-42.

For citation: *Glotov N.V., Lamanova A.O., Kuznetsov S.M.* Building a model of the utilization rate of mining excavators in time // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 38 - 42. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-38-42.

# ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 637.333

doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-43-49

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА-СЫРЬЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА

А.П. Симоненкова, Е.Н. Демина

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел  
302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
simonenkova1@mail.ru; deminakate@rambler.ru

**Аннотация.** Рассмотрено решение проблемы целесообразности пастеризации молока-сырья при производстве сыров. Выявлена целесообразность тепловой обработки молока при температурах не выше 76°C при тщательном соблюдении санитарно-гигиенических условий. Исследовано влияние тепловой обработки на массовую долю жира в молоке, качественным анализом определена степень денатурации сывороточных белков. Экспериментально подтверждена прямая зависимость между интенсивностью нагрева и продолжительностью сычужного свертывания. Выбор и соблюдение оптимального режима пастеризации способствует снижению содержания в молоке патогенных и технически вредных микроорганизмов до уровня, при котором они при последующем нормальном ходе технологического процесса не могут нанести ущерба качеству готового продукта.

**Ключевые слова:** массовая доля жира, показатели качества молока, режимы пастеризации, сывороточный белок, сыропригодное молоко, сычужное свертывание, титруемая кислотность.

**Abstract.** The solution of the problem of expediency of pasteurization of raw milk in the production of cheeses is considered. The expediency of heat treatment of milk at temperatures not exceeding 76°C with careful observance of sanitary and hygienic conditions was revealed. The effect of heat treatment on the mass fraction of fat in milk was studied, and the degree of de-naturalization of whey proteins was determined by qualitative analysis. A direct relationship between the intensity of heating and the duration of rennet coagulation has been experimentally confirmed. The choice and observance of the optimal pasteurization regime helps to reduce the content of pathogenic and technically harmful microorganisms in milk to a level at which they cannot damage the quality of the finished product during the subsequent normal course of the technological process.

**Key words:** mass fraction of fat, milk quality indicators, pasteurization modes, whey protein, cheese milk, rennet coagulation, titratable acidity.

### **Введение и цель исследования**

Одной из важных проблем, стоящих перед сыроделами, является целесообразность пастеризации молока и режимы

ее проведения. Определенная часть производителей считает, что получить хороший сыр возможно только из сырого молока. Вторая крайность сыроделов-фермеров

– молоко, предназначенное для производства сыра, следует обязательно подвергнуть кипячению или использовать для производства сыра пастеризованное магазинное молоко. Придерживаясь этого правила, следует учитывать, что тепловая обработка изменяет физико-химические свойства белков и солевое равновесие в молоке. Происходит денатурация сывороточных белков, повышается гидрофильность казеина, часть растворимых солей кальция переходит в нерастворимое состояние и т.д. Поэтому сгусток, полученный из пастеризованного молока, при прочих равных условиях, обезвоживается медленнее, чем сгусток из сырого молока [3].

Решить проблему возможно только путем тщательного подбора температурных режимов тепловой обработки молока, предназначенного для производства сыра. Выбирая оптимальный режим пастеризации важно помнить, что главная цель пастеризации – снижение содержания в молоке патогенных и технически вредных микроорганизмов до такого уровня, при котором они при последующем нормальном ходе технологического процесса не смогут нанести ущерба качеству готового продукта. При этом следует учитывать, что условием, ограничивающим параметры пастеризации, является максимальное сохранение состава и физико-химических свойств молока, оказывающих влияние на выход и качество сыра [6, 8].

Цель научных экспериментальных исследований – охарактеризовать сыропригодность различных образцов сырого молока и обосновать оптимальные режимы его тепловой обработки.

### **Результаты исследования тепловой обработки молока-сырья для производства сыров**

Исследования проводили в лаборатории кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Ор-

ловского государственного университета имени И.С. Тургенева при поддержке специалистов ООО «Орел».

В качестве объектов исследования применяли молоко сырое пяти образцов с кислотностью не выше 18-20 °Т: образец № 1 – молоко пастеризованное из молока «Молочные реки»; образец № 2 – молоко фермерское (Урицкий район); образец № 3 – молоко фермерское (Болховский район); образец № 4 – молоко сборное ООО «Орел»; образец № 5 – молоко пастеризованное производства ООО «Маслово». С учетом общепринятых в молочной промышленности тепловых режимов обработки, образцы одного и того же молока нагревали до температуры 63°C, выдержка 30 мин; 72-74°C, выдержка 20 с; 78-80°C, выдержка 20 с; 85-87°C, выдержка 10 мин; 95°C, выдержка 3-5 мин; 120°C, выдержка 20 мин. После тепловой обработки образцы молока охлаждали до температуры 20°C и подвергали исследованию.

При выполнении работы использовали общепринятые, стандартные и оригинальные методы исследования. Массовую долю жира в молоке определяли кислотным методом Гербера по ГОСТ 5867-90, титруемую кислотность – по ГОСТ 3624-92, плотность – по ГОСТ Р 54758-2011. Относительную вязкость молока определяли вискозиметрическим методом в соответствии с ГОСТ Р 54077-2010. Степень денатурации сывороточных белков определяли качественным и количественным методами [5, 7]. Экспериментальные исследования осуществлялись в трех повторностях, статистическую обработку и оценку достоверности результатов исследований проводили с помощью пакета программ Microsoft Office 2010: Microsoft Excel.

Известен факт, что молоко для сыроделия считается сыропригодным, если оно имеет оптимальное содержание белков, жира, сухого обезжиренного молочного остатка, кальция, образует под действием

сычужного фермента плотный сгусток, хорошо отделяющий сыворотку, и является благоприятной средой для развития молочнокислых бактерий [9]. Все образцы

исследуемого молока соответствовали требованиям, предъявляемым к сыропригодному молоку (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели качества исходного молока

Показатели исследуемого молока	Исследуемые образцы молока				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Массовая доля жира, %	3,4	3,7	3,6	3,5	3,2
Массовая доля белка, %	3,0	2,9	3,0	3,1	3,0
Титруемая кислотность, °Т	17	18	18	16	19
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1028	1026	1027	1028	1028
Вязкость, 10 <sup>-3</sup> Па·с	1,79	1,83	1,81	1,79	1,75
Продолжительность свертывания, мин	32	34	30	35	42

Образцы № 2 и № 3 характеризовались повышенным содержанием жира, что в дальнейшем может отрицательно повлиять на процесс обезвоживания сгустка. Однако этот недостаток можно нивелировать применением нормализации молока. Плотность исследуемых образцов варьировалась от 1026 до 1028 кг/м<sup>3</sup>. Снижение плотности в образце № 2 до 1026 кг/м<sup>3</sup> можно объяснить пониженным содержанием белка и повышенным содержанием жира. По продолжительности свертывания образцы № 1 – № 4 были отнесены ко второй группе. Образец № 5 свернулся за 42 минуты, что соответствовало третьей группе. Полученный сгусток был дряблым, плохо выделяющим сыворотку.

Тепловая обработка молока практически не оказала существенного влияния на

молочный жир. Заметного изменения по содержанию жира в исследуемом молоке не выявлено. По мере нагревания массовая доля снизилась в среднем на 0,1-0,2 %, что можно объяснить его переходом в жидкое состояние. Нагрев молока до 95-120°С привел к частичному вытапливанию на поверхности молока жира. Это можно объяснить тем, что снизилась механическая прочность оболочек, которая и привела к частичной дестабилизации жировой эмульсии (таблица 2).

Установлено, тепловое воздействие приводит к денатурации сывороточных белков в разной степени (таблица 3). Степень денатурации сывороточных белков составила от 1 % при нагреве до 63°С и до 46 % – при нагревании до 120°С.

Таблица 2 – Массовая доля жира в исследуемом молоке после тепловой обработки

Температурные режимы обработки	Исследуемые образцы молока				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
63 °С, выдержка 30 мин.	3,4	3,7	3,6	3,5	3,2
72-74 °С, выдержка 20 с.	3,4	3,7	3,6	3,5	3,2
78-80 °С, выдержка 20 с.	3,4	3,7	3,6	3,5	3,2
85-87 °С, выдержка 10 мин.	3,4	3,6	3,6	3,4	3,2
95 °С, выдержка 3-5 мин.	3,2	3,5	3,4	3,2	3,1
120 °С, выдержка 20 мин.	3,0	3,3	3,3	3,2	3,0

Причем в образце № 5 интенсивная денатурация наблюдалась уже при нагреве молока до 78-80°C (рисунок 1). Во многом это можно объяснить прямым способом нагрева, который оказывает более жесткое влияние на денатурацию термолабильных сывороточных белков.

Денатурация сывороточных белков проявляется в разворачивании полипептидной цепи и с тем большей полнотой, чем меньше в молекуле белка дисульфидных

связей. При этом изменяются вязкость, оптические свойства, показатели седиментации, диффузии [2, 4]. Экспериментально доказано, нагревание молока привело к изменению вязкости всех исследуемых образцов с  $1,75 \cdot 10^{-3}$  Па·с до  $2,3 \cdot 10^{-3}$  Па·с при нагреве до 120°C. Причем по мере увеличения нагрева вязкость также увеличилась, что объясняется частичной денатурацией сывороточных белков (рисунок 2).

Таблица 3 – Результаты качественного определения степени денатурации сывороточных белков

Температурные режимы обработки	Исследуемые образцы молока				
	№1	№2	№3	№4	№5
63 °С, выдержка 30 мин.	+	+	+	+	++
72-74 °С, выдержка 20 с.	+	+	+	+	++
78-80 °С, выдержка 20 с.	++	++	++	++	++
85-87 °С, выдержка 10 мин.	++	+++	+++	+++	+++
95 °С, выдержка 3-5 мин.	+++	+++	+++	+++	+++
120 °С, выдержка 20 мин.	+++	+++	+++	+++	+++

+ – наблюдается легкая опалесценция; ++ – сыворотка мутная слегка;  
 +++ – сыворотка мутная

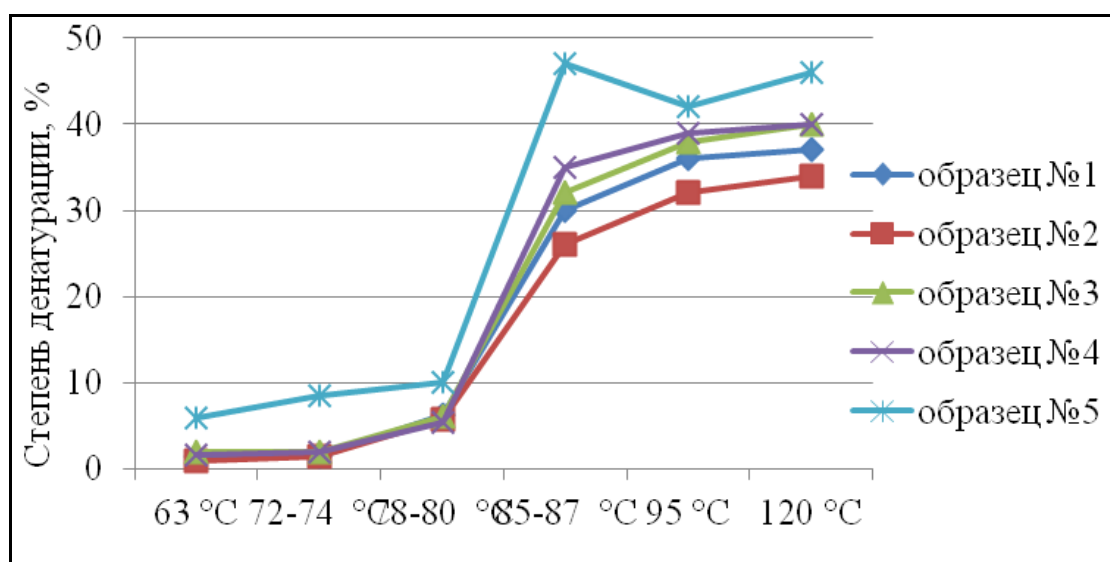


Рисунок 1 – График зависимости степени денатурации сывороточных белков от температуры

С повышением температуры титруемая кислотность исследуемых образцов снижалась на 0,5 – 1 °Т. В температурном диапазоне 85 – 120°C титруемая кислотность в среднем снизилась на 1,5 – 2 °Т. В

процессе нагревания из молока улетучивается углекислый газ, часть растворимых кислых солей переходит в нерастворимое состояние, поэтому кислотность снижается (рисунок 3).

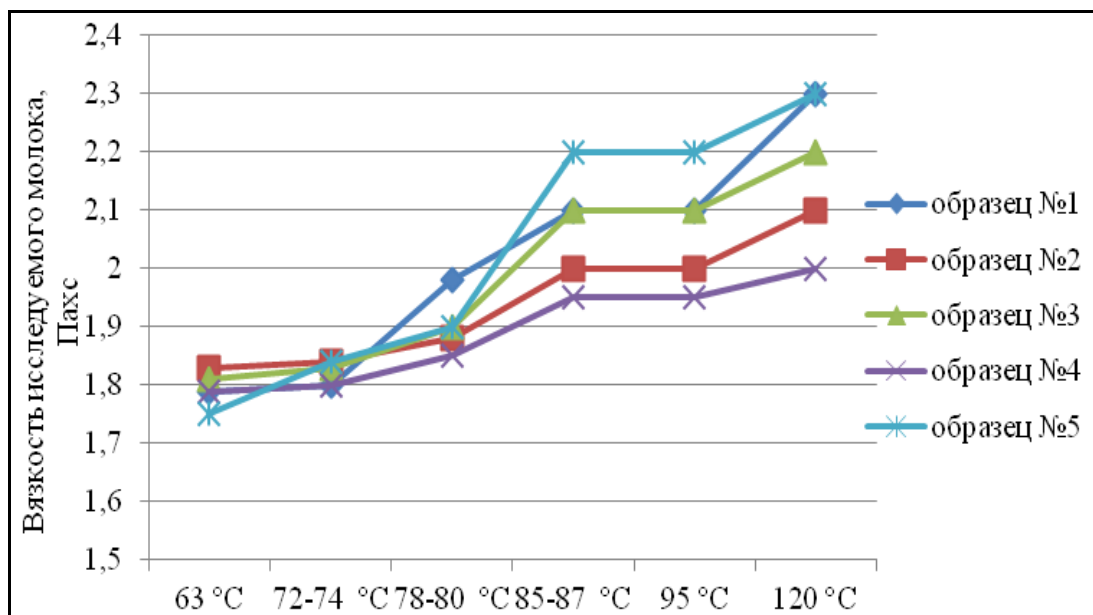


Рисунок 2 – График изменения вязкости исследуемых образцов в зависимости от применяемых режимов пастеризации

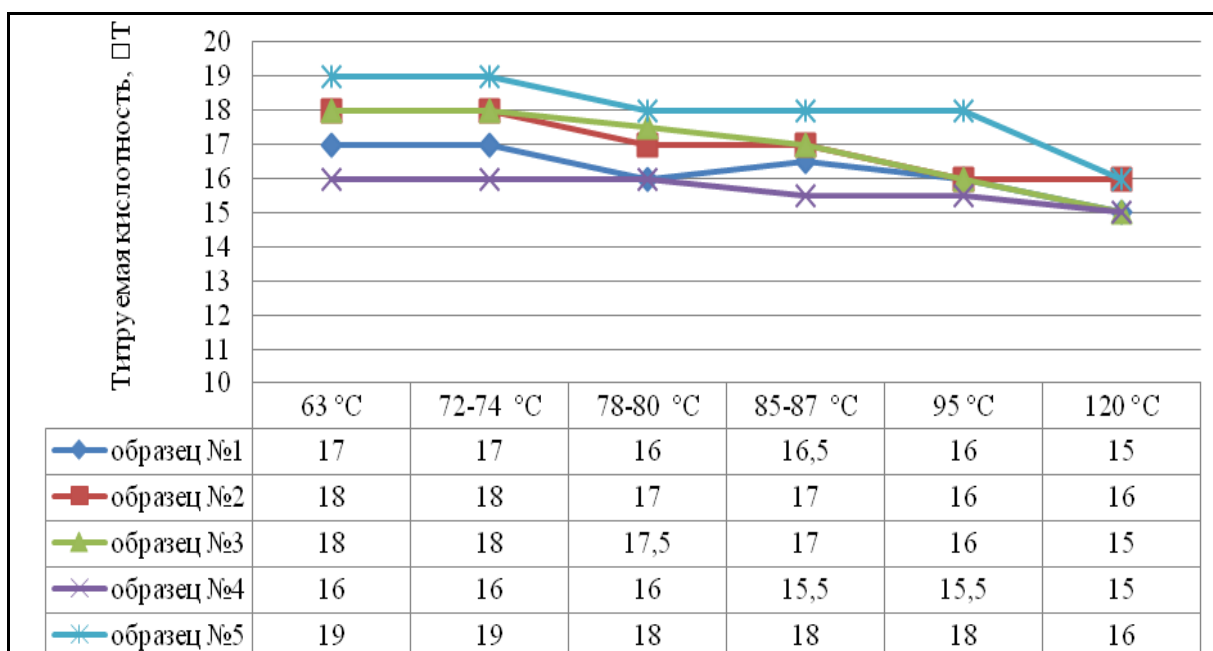


Рисунок 3 – График зависимости титруемой кислотности от температуры

Плотность всех исследуемых образцов молока в процессе нагревания изменилась незначительно и оставалась в пределах норм, отвечающих требованиям сыропригодности.

Теоретически известен тот факт, что в результате пастеризации и стерилизации в молоке снижается количество ионно-

молекулярного кальция (на 11-50 %), что ухудшает способность молока к сычужному свертыванию [1].

Экспериментально подтверждена прямая зависимость между интенсивностью нагрева и продолжительностью свертывания. Из данных, представленных на рисунке 4, видно, что продолжительность свер-



тивания молока при температурах пастеризации 78-80°C увеличивается незначительно (всего на 8-12 %). Дальнейшее повышение температуры пастеризации до

85-87°C нарушает коллоидно-химические свойства молока и свертывания не наблюдается (рисунок 4).

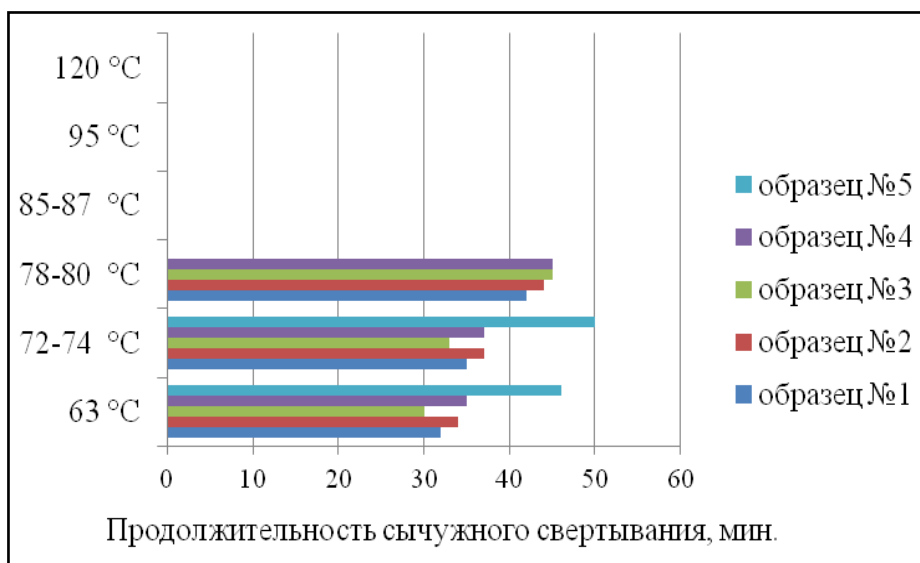


Рисунок 4 – График зависимости продолжительности сычужного свертывания от температуры

### Выводы

Таким образом, изучив влияние пастеризации на состав и физико-химические свойства молока, пришли к выводу, что сыропригодность молока снижается при нагревании до температуры 78-80°C с выдержкой в течении 20 с. Несмотря на то, что при этом температурном режиме наблюдается повышенная степень денатурации сывороточных белков, которые способны повысить выход сыра, продолжи-

тельность сычужного свертывания увеличивается или сгусток не образуется вовсе. Поэтому целесообразно при производстве сыров проводить тепловую обработку молока при температурах не выше 76°C при тщательном соблюдении санитарно-гигиенических условий. При этом следует обратить внимание на то, что так называемое «магазинное молоко» (образец № 5) не следует подвергать повторной пастеризации при производстве сыра.

### Библиографический список

1. Горбатова К.К., Гунькова П.И. Химия и физика молока и молочных продуктов. СПб.: ГИОРД, 2012. 330 с.
2. Горбатова К.К., Гунькова П.И. Биохимия молока и молочных продуктов: учебник. СПб.: ГИОРД, 2010. 336 с.
3. Горбунова Ю.А., Оверченко А.С. Сыропригодность молока и методы ее повышения // Аграрное образование и наука. 2014. № 3. С. 4-9.
4. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2004. 804 с.
5. Крусъ Г.Н. Технология молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусъ, А.Г. Храмцов, З. В. Волоткина, С. В. Карпычев / Под редакцией А. М. Шалыгиной. М.: КолосС, 2007. 455 с.
6. Панова Н.М. Биотехнологические основы сыроделия: учебное пособие. Ставрополь: СКФУ, 2016. 160 с.
7. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 3. Сыры / Под общей ред. Г.Г. Шилера. СПб: ГИОРД, 2003. 512 с.
8. Сучкова Е.П. Технология молока и молочных продуктов. Часть 4. Технология сыра: учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 52 с.

9. Яшкин А.И. Современные подходы к применению микробной трансглутаминазы в сыроделии (аналитический обзор) // Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 1 (33). С. 98-113.

### **Referenses**

1. Gorbatova K.K., Gun'kova P.I. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov. SPb.: GIORД, 2012. 330 s.
2. Gorbatova K.K., Gun'kova P.I. Biohimiya moloka i molochnyh produktov: uchebник. SPb.: GIORД, 2010. 336 s.
3. Gorbunova YU.A., Overchenko A.S. Syroprigodnost' moloka i metody ee povysheniya // Ag-rarnoe obrazovanie i nauka. 2014. № 3. S. 4-9.
4. Gudkov A.V. Syrodellie: tekhnologicheskie, biologicheskie i fiziko-himicheskie aspekty. M.: DeLi print, 2004. 804 s.
5. Krus' G.N. Tekhnologiya moloka i molochnyh produktov / G.N. Krus', A.G. Hramcov, Z. V. Vo-lotikina, S. V. Karpuchev / Pod redakciej A. M. SHalyginov. M.: KolosS, 2007. 455 s.
6. Panova N.M. Biotekhnologicheskie osnovy syrodelliya: uchebnoe posobie. Stavropol': SKFU, 2016. 160 s.
7. Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. Tekhnologiya i receptury. T. 3. Syry / Pod obshchej red. G.G. SHilera. SPb: GIORД, 2003. 512 s.
8. Suchkova E.P. Tekhnologiya moloka i molochnyh produktov. CHast' 4. Tekhnologiya syra: ucheb.-metod. posobie. SPb.: Universitet ITMO, 2015. 52 s.
9. YAshkin A.I. Sovremennye podhody k primeneniyu mikrobnovj transglyutaminazy v syro-dellii (analiticheskij obzor) // Molochnohozjaystvennyj vestnik. 2019. № 1 (33). S. 98-113.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 18.02.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 23.03.2022*

*Принята к публикации / Accepted 03.04.2022*

*© А.П. Симоненкова, Е.Н. Демина, 2022*

---

### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Симоненкова Анна Павловна* – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева.

*Anna Simonenkova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Food Technology and Organization of Restaurant Business, Orel State University named after I.S. Turgenev.

*Демина Екатерина Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева.

*Ekaterina Demina* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology and Organization of Restaurant Business, Orel State University named after I.S. Turgenev.

Ссылка для цитирования: *Симоненкова А.П., Демина Е.Н.* Оптимизация режимов пастеризации молока-сырья, предназначенного для производства сыра // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 43 - 49. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-43-49.

For citation: *Simonenkova A.P., Demina E.N.* Optimization of pasteurization regimes for raw milk intended for cheese production // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 43 - 49. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-43-49.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Н.В. Сокол

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар  
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13  
sokol\_n.v@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены данные экспериментальных исследований по проращиванию зерна пшеницы сортов Гром, Есаул, Тимирязевка 150. Получены оптимальные условия замачивания зерна с целью проращивания: температура воды 30°C, время замачивания – 17 часов до достижения влажности 43 - 45% в присутствии ферментного препарата ЦеллоЛюкс F для повышения водопогложительных свойств зерна. Использование оптимальных параметров технологического процесса замачивания зерна позволяет получить обогащенные хлебобулочные изделия высокого качества.

**Ключевые слова:** влажность зерна, зерно, параметры замачивания, сорт пшеницы, ферменты, хлеб, энергия прорастания.

**Abstract.** The article presents data from experimental studies on the germination of wheat grain varieties Grom, Esaul, Timiryazevka 150. The optimal conditions for grain soaking for the purpose of germination are obtained: water temperature 30°C, soaking time - 17 hours until a moisture content of 43 - 45% is reached in the presence of CelloLux F enzyme preparation for increasing the water-absorbing properties of grain. The use of optimal parameters of the technological process of grain soaking makes it possible to obtain enriched bakery products of high quality.

**Key words:** grain moisture, grain, soaking parameters, wheat variety, enzymes, bread, germination energy.

### Введение

В современных условиях, ориентированных на здоровый образ жизни, все большую популярность приобретают продукты питания группы «Здоровье», поэтому проводится много исследований по поиску способов обогащения продуктов питания микронутриентами и биологически активными веществами [1, 2].

Для обогащения хлебобулочных изделий используют различные виды нетрадиционного сырья богатого микронутриентами, так как основное сырье – сортовая мука при производстве теряет

наиболее ценные в пищевом отношении части зерна. Поэтому, учитывая пищевую ценность зерна пшеницы, ведется поиск возможностей использования непосредственно цельного зерна для производства хлеба [3, 4].

Обогатить хлебобулочные изделия можно за счет использования природных возможностей зерна, путем проращивания, так как в этот период происходит активизация ферментов и активный рост витаминов и микроэлементов. Функциональная направленность продуктов на основе пророщенного зерна заключается в способности быстро насыщать организм

комплексом легко усваиваемых аминокислот, витаминов и микроэлементов и одновременно производить глубокую очистку кишечника от токсинов, ядов, отходов переработки пищи благодаря пищевым волокнам.

Процесс проращивания пшеницы, используемой для обогащения продуктов переработки зерна, требует четкого отслеживания и регулирования [5]. Излишнее проращивание пшеницы приводит к чрезмерному осахариванию крахмала, гидролизу белка и активации  $\alpha$ -амилазы, что делает тесто не пригодным для изготовления качественной продукции. Если зерно подвергается длительному увлажнению и бесконтрольному проращиванию, то активность  $\alpha$ -амилазы настолько велика, что полученная мука становится неприемлемой для дальнейшего использования. Тогда как в контролируемых условиях исследователями отмечается лишь небольшая активность ферментов, что свидетельствует о возможности использования полученной муки для производства широкого спектра зерновых продуктов. В ряде работ отечественных и зарубежных исследователей [6, 7, 8, 9] показано, что применение муки из

цельной пшеницы, проросшей в контролируемых условиях, позволило улучшить объем хлеба и структуру мякиша, а также обогатить изделия витаминами группы В, минеральными веществами и незаменимыми аминокислотами.

Разработка технологических решений получения пророщенного зерна пшеницы должно быть также безопасным в соответствии с требованиями ТР ТС 021 / 2011 для производства зернового хлеба [10, 11, 12].

### **Экспериментальные исследования технологии получения пророщенного зерна пшеницы**

С этой целью проводился эксперимент по проращиванию зерна озимой мягкой пшеницы сортов Гром, Есаул и Тимирязевка 150 (таблица 1). Полученные результаты говорят о практически одинаковом проращивании зерен пшеницы исследуемых сортов, что дает основание сделать заключение о высокой степени осахаривания крахмала, что немаловажно для брожения теста.

Через 17 часов замачивания проросшие зерна составляли 93 % (рисунок).

*Таблица 1 – Данные эксперимента по проращиванию зерна озимой мягкой пшеницы через 48 часов*

Сорт озимой мягкой пшеницы	Размер ростков		
	1 мм – 3 мм	3 мм – 25 мм	Не проросшие зерна
	Количество зерен		
Гром	18	480	2
Есаул	22	469	9
Тимирязевка 150	25	473	2

Зерно в таком состоянии готово к диспергированию и получению зерновой массы для замеса теста. Для зернового хлеба важно, чтобы влажность диспергированной массы была в пределах 43-45%.

Для отработки оптимальных условий замачивания зерна было запланировано несколько вариантов замачивания с раз-

личной температурой воды – 20, 25, 30°C. Влажность зерна определяли в начальный момент замачивания, через 3 часа и через 17 часов с целью определения времени необходимого для достижения влажности 43-45 %. Результаты представлены в таблице 2.



Рисунок – Пророщенное зерно после 17 часов замачивания

Таблица 2 – Основные параметры замачивания зерна для получения диспергированной зерновой массы

Параметры подготовки зерна к диспергированию	Сорт зерна пшеницы		
	Гром	Есаул	Тимирязевка 150
Влажность на момент замачивания, %			
Температура воды для замачивания:			
20°C	10,5	10,4	10,5
25°C	10,5	9,9	10,7
30°C	10,4	10,7	10,4
Влажность через 3 часа после замачивания, %			
Температура воды для замачивания:			
20°C	33,3	34,0	30,4
25°C	32,4	31,9	30,0
30°C	32,3	32,3	30,5
Влажность через 17 часов после замачивания, %			
Температура воды для замачивания:			
20°C	42,2	42,5	42,9
25°C	42,9	43,1	43,8
30°C	43,2	43,8	44,6

Из результатов, показанных в таблице 2, можно сделать заключение, что замачивание в воде с температурой воды 30°C проходит более интенсивно и способствует более быстрому достижению оптимальной влажности. Было установлено оптимальное время прорастания зерна, оно составило 17-19 часов с момента замачивания.

В технологии хлеба из цельного зерна пшеницы очень важно, чтобы происходило равномерное прорастание для лучшего осахаривания крахмала, благодаря чему улучшается сахаробразующая способность

зерновой массы и брожение теста. Ранее автором были проведены исследования по определению энергии прорастания в исследуемых образцах зерна [13]. Полученные данные в эксперименте показали, что без использования ферментных препаратов, процесс длился 18–20 часов. В опыте с ферментным препаратом ЦеллоЛюкс F прорастание происходило в течение 10–12 часов, а с препаратом Дипектил Кларификейшен – от 14 до 16 часов. Конечная влажность зерна по завершении процесса достигала 43 %.

В последних исследованиях для сокращения времени проращивания зерна пшеницы также использовали ферментные препараты Дипектил Кларификейшен и ЦеллоЛюкс F. В препарате Дипектил Кларификейшен основным ферментом является пектиназа, обладающая способностью расщеплять цепочки пектиновых веществ. Препарат Целлолюкс F включает

ферменты целлюлютического действия, такие как целлюлаза, ксиланаза и  $\beta$  – глюканаза, способные повышать водопоглотительную способность зерна пшеницы. С использованием этих препаратов был проведен опыт по замачиванию зерна пшеницы. Влияние препаратов на длительность процесса замачивания представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние ферментных препаратов на длительность процесса замачивания зерна

Сорт зерна пшеницы	Время до момента прорастания, час		
	контроль	Дипектил Кларификейшен	ЦеллоЛюкс F
Гром	18	13	10
Есаул	18	13	10
Тимирязевка 150	18	13	10

Исходя из данных таблицы 3, можно сделать вывод о том, что самые хорошие результаты были получены при замачивании в растворе препарата ЦеллоЛюкс F. Из этого следует, что в технологии зернового хлеба, обогащенного микронутриентами, целесообразно принять решение об использовании этого ферментного препарата на стадии замачивания зерна.

Лабораторные выпечки хлеба проводились из зерна изучаемого сорта Тимирязевка 150 с замачиванием зерна без ферментного препарата (контроль) и с ферментным препаратом ЦеллоЛюкс F (опытный образец). Оценку качества опытных образцов проводили, используя 5-бальную

шкалу по органолептическим показателям. Общая хлебопекарная оценка по пяти показателям у контрольного образца была 22,5 балла, а с ферментным препаратом – 24,0 балла.

### **Заключение**

Полученный результат дает основание рекомендовать замачивание зерна водой с температурой 30<sup>0</sup>С в течении 17 часов с ферментным препаратом ЦеллоЛюкс F при производстве цельнозернового хлеба. Применение препарата ЦеллоЛюкс F позволяет снизить микробиологическую контаминацию зерна при проращивании.

### **Библиографический список**

1. Джахангирова Г.З., Махмудова Д.Х. Изучение обогащения хлеба безглютенового зародышами злаков // Universum: технические науки. электрон. научн. журн. 2021. 5(86). URL:<https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11741>.
2. Оценка функциональных свойств показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой / Н.Н. Алехина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 323- 332.
3. Бастриков Д. Панкратов Г. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании // Хлебопродукты. 2006. № 1. С. 40-41.
4. Корячкина С.Я., Кузнецова Е.А. Инновационная технология хлеба из пророщенного зерна пшеницы // Хлебопечение России. 2009. № 3. С. 52-53.

5. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Малинин А.В., Цатуров А.В. Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 151. С. 200-210.
6. Зенькова М.Л., Акулич А.В. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 26-53.
7. Dornez E. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels / E. Dornez, K. Gebruers, I.J. Joye, B. De Ketelaere, J. Lenartz, C. Massaux, et al. // Journal of Cereal Science, 47 (2). 2008. PP. 180 – 189.
8. Gooding M.J. The wheat crop Wheat Chemistry and Technology, Chapter 2 (fourth ed.) / M.J. Gooding // AACCI International, Inc, St. Paul, MN, 2009.
9. Rathjen J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain J. / J. Rathjen, E. Strounina, D. Mares // Exp. Bot., №60 (6), 2009. PP. 1619 – 1631.
10. Бережная О.В., Войно Л.И. Повышение микробиологической безопасности пророщенного зерна пшеницы // Пищевая промышленность. 2013. № 6. С. 28-29.
11. Сокол Н.В., Лихобабина М.С. Исследование безопасности зерна пшеницы как сырьевого ингредиента для зернового хлеба // Технологии и продукты здорового питания. Сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 17-18 декабря 2020 г. - Саратов: Изд. СГАУ, 2021. С. 627-629.
12. Василенко И.И., Комаров В.И. Оценка качества зерна: справочник. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.
13. Сокол Н.В., Дудко М.А. Влияние ферментных препаратов на энергию прорастания зерна пшеницы // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71 научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 год. Краснодар: Изд. КГАУ, 2016. С. 759-761.

### **Referenses**

1. Dzhahangirova G.Z., Mahmudova D.H. Izuchenie obogashcheniya hleba bezglyutenovogo zarodyshami zlakov // Universum: tekhnicheskie nauki. elektron. nauchn. zhurn. 2021. 5(86). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11741>.
2. Ocenka funkcional'nyh svoystv pokazatelej bezopasnosti zernovogo hleba s amarantovoj mukoj / N.N. Alekhina [i dr.] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. 2021. T. 51. № 2. S. 323- 332.
3. Batrikov D. Pankratov G. Izmenenie biohimicheskikh svoystv zerna pri zamachivanii // Hlebo-produkty. 2006. № 1. S. 40-41.
4. Koryachkina S.Ya., Kuznecova E.A. Innovacionnaya tekhnologiya hleba iz proroshchennogo zerna pshenicy // Hlebopechenie Rossii. 2009. № 3. S. 52-53.
5. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Малинин А.В., Цатуров А.В. Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 151. С. 200-210.
6. Zen'kova M.L., Akulich A.V. Vliyanie processa prorashchivaniya zeren zlakovykh kul'tur na ih pishchevuyu cennost' // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya. 2021. № 3. S. 26-53.
7. Dornez E. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels / E. Dornez, K. Gebruers, I.J. Joye, B. De Ketelaere, J. Lenartz, C. Massaux, et al. // Journal of Cereal Science, 47 (2). 2008. PP. 180 – 189.
8. Gooding M.J. The wheat crop Wheat Chemistry and Technology, Chapter 2 (fourth ed.) / M.J. Gooding // AACCI International, Inc, St. Paul, MN, 2009.
9. Rathjen J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grain J. / J. Rathjen, E. Strounina, D. Mares // Exp. Bot., №60 (6), 2009. PP. 1619 – 1631.

10. Berezhnaya O.V., Vojno L.I. Povyshenie mikrobiologicheskoy bezopasnosti proroshchennogo zerna pshenicy // Pishchevaya promyshlennost'. 2013. № 6. S. 28-29.
11. Sokol N.V., Lihobabina M.S. Issledovanie bezopasnosti zerna pshenicy kak syr'evogo ingredi-enta dlya zernovogo hleba // Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya. Sbornik statej XII Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Saratov, 17-18 dekabrya 2020 g. Saratov: Izd. SGAU, 2021. S. 627-629.
12. Vasilenko I.I., Komarov V.I. Ocenka kachestva zerna: spravochnik. M.: Agropromizdat, 1987. 208 s.
13. Sokol N.V., Dudko M.A. Vliyanie fermentnykh preparatov na energiyu prorastaniya zerna pshchenicy // Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statej po materialam 71 nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2015 god. Krasnodar: Izd. KGAU, 2016. S. 759-761.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 15.04.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 28.04.2022*

*Принята к публикации / Accepted 12.05.2022*

*© С.В. Сокол, 2022*

---

**Сведения об авторе**  
**List of Author**

---

*Сокол Наталья Викторовна* – доктор технических наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина.

*Natalya Sokol* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

Ссылка для цитирования: *Сокол Н.В.* Разработка технологии получения пророщенного зерна пшеницы для обогащения хлебобулочных изделий // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 50 - 55. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-50-55.

For citation: *Sokol N.V.* Development of a technology for obtaining germinated wheat grain for the enrichment of bakery products // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 50 - 55. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-50-55.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЗДУХОВОДОВ С ПЕРФОРАЦИЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ В КУЛЬТОВЫХ ЗДАНИЯХ

*Е.В. Кругликова*

*Полоцкий государственный университет, Полоцк  
211440, Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29  
elena.bobkova99@mail.ru*

**Аннотация.** *Рассмотрены вопросы организации воздухораспределения в культовых зданиях с целью удаления вредных выделений и обеспечения комфортных условий для пребывания людей. Предложено обеспечить вентиляцию с помощью текстильных воздуховодов. Исследован текстильный воздухораспределитель с различными видами перфорации, получены графики скорости воздуха на расстоянии от воздухораспределителя и эпюры скоростей внутри воздуховода.*

**Ключевые слова:** *воздухораспределение; культовое здание; микроклимат, микроперфорация, скорость воздуха, текстильный воздуховод.*

**Abstract.** *The issues of organizing air distribution by textile air ducts in religious buildings in order to remove harmful emissions and provide comfortable conditions for people to stay are considered. It is proposed to provide ventilation with the help of textile air ducts. A textile air diffuser with various types of perforations has been studied, air velocity graphs at a distance from the air distributor and velocity diagrams inside the air duct have been obtained.*

**Key words:** *air distribution; religious building; microclimate, microperforation, air velocity, textile air duct.*

Ключевыми факторами комфортного пребывания внутри культового здания, как места массового пребывания людей, является качество воздуха в помещениях. Храмы – это общественные здания, которые ежедневно посещают большое количество людей и обеспечение их комфортного пребывания – одна из важных задач обеспечения безопасности и здоровья людей. В период проведения богослужений в помещениях храма, прихожане выделяют значительное количество тепла, влаги, а также углекислого газа CO<sub>2</sub>. От горящих свеч

и лампад также выделяется тепло и окись углерода. Для здания рост уровня тепла и влажности приводит к выпадению конденсата на внутренней поверхности стен и оконных стекол, что, в свою очередь, приводит к появлению плесени.

Главной задачей системы вентиляции в культовом здании является удаление вредностей и обеспечение достаточного количества свежего воздуха для комфортного нахождения людей [1].

Для решения этих задач проработан вопрос применения различных текстиль-

ных воздухораспределителей в системе вентиляции культового здания для организации достаточного воздухообмена. В разных странах мира уже давно применяют текстильные воздухораспределители.

Теоретические современные и экспериментальные исследования направлены на поиск пути совершенствований существующих систем вентиляции и кондиционирования, исследованию различных типов воздухораспределительных устройств, к числу которых относят текстильные воздухораспределители [2].

Текстильные воздуховоды и воздухораспределители – относительно новое понятие в вентиляционной технике (рисунок 1). Способ распределения воздуха в помещении в системах с текстильными воздуховодами отличается от стандартных систем тем что, такие системы с тканевыми воздуховодами не имеют диффузоров или решеток, монтируемых в воздуховод.

Технология изготовления в разы легче традиционных металлических воздуховодов, что на порядок снижает общий вес системы и нагрузку на конструкцию зданий. Конструктивные изменения воздухопрозрачных вставок из тканей с нормируемой прозрачностью позволяют достигать точных расходов воздуха на заданных участках вентиляционных сетей, что снижает более чем на 50% затраты на распределение воздуха. Таким образом, достигается однородное распределение воздуха по всему периметру, исключаются сквозняки. При реализации системы на основе текстильных воздуховодов наблюдается высокий уровень смешивания подаваемого воздуха с воздухом, находящегося в помещении. Кроме того, конденсат внутри воздуховодов не образуется, также исключается проблема коррозии металла. Благодаря воздухопрозрачной вставке может осуществляться фильтрация воздуха.



Рисунок 1 – Текстильная система распределения воздуха (<https://propotok.com>)

Текстильный воздуховод уже с момента производства одновременно является воздухораспределителем. Текстильные воздуховоды имеют не только стандартную форму поперечного сечения.

Многообразный выбор цвета и ткани, 7 стандартных форм сечения текстильных воздуховодов дает возможность разным помещениям соответствовать эстетическим и дизайнерским требованиям. Эти

критерия важны, когда речь идет о системе вентиляции культового здания, которая не должна нарушать интерьер храма [2].

Основными способами подачи приточного воздуха с помощью текстильного воздуховода являются использование проницаемой ткани, микроперфорации, перфорации, малого и большого сопел. Микроперфорация – это отверстия диаметром до 1 мм. Скорость выхода воздуха через мик-

роперфорацию настолько низкая, что движение воздуха происходит вследствие разницы плотности воздушных потоков. Дальнобойность струи микроперфорации зависит от статического давления и может достигать 2 м.

Проведено исследование текстильного воздухораспределителя с различными видами перфорации и микроперфорации.

Экспериментальная установка представляла из себя осевой вентилятор с частотным преобразователем и систему из текстильных воздухораспределителей с разными видами перфорации.

Исследовалось 4 системы диаметром 500 мм: две системы длиной 20 м, две системы длиной 3 м.

Каждая из систем была поделена на равные участки, в которых в сечении производились замеры скорости воздушного потока внутри воздуховода  $v$  м/с, динамического давления  $P_d$  Па, статического давления  $P_{ст}$  Па, полного давления  $P_n$  Па и скорости воздушного потока  $v_b$  м/с на выходе из отверстий перфорации и микроперфорации. Каждый из параметров в каждой точке измерялся по 3 раза [3].

При измерениях аэродинамических параметров воздуха использовались такие приборы, как газоанализатор Testo 335 с трубкой Пито для измерений скорости и давления воздушного потока внутри воздухораспределителя, термоанемометр МЕГЕОН 11005 с выносным датчиком для измерения скорости воздушного потока  $v_b$  м/с на выходе из перфорированных отверстий.

На выходе из воздуховода скорость воздуха измерялась на расстояниях 0,1 м, 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 1,7 м от воздухораспределителя с перфорацией и на расстоянии 0,05 м от воздухораспределителя с микроперфорацией.

В результате экспериментальных измерений были построены графики скорости воздуха на расстоянии от воздухораспределителя и эпюры скоростей внутри воздуховода. Результаты проведенных экспериментов и анализа результатов представлены на рисунке 2.

Сначала исследовался воздухораспределитель с боковой перфорацией  $180^\circ$ , направленной под углом  $90^\circ$ , длиной 3 м (рисунок, а).

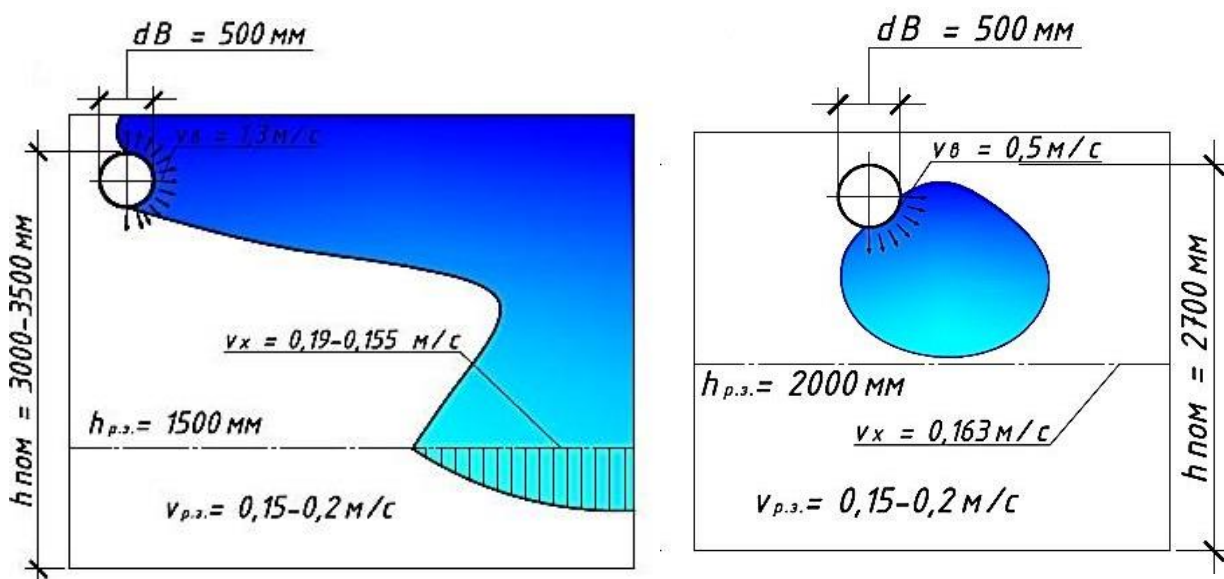


Рисунок 2 – Схема подачи воздуха через текстильный воздухораспределитель  
а – боковая перфорация  $180^\circ$ , направленная под углом  $90^\circ$ , длина 3 м; б – микроперфорация  $45^\circ$ , направленная под углом  $125^\circ$ , длина 20 м

Применение перфорации возможно в тех случаях, когда воздуховод на достаточное расстояние удален по высоте от рабочей зоны (3-8 м). Данный способ воздухораспределения позволяет эффективно распределять воздух в помещении и достигать нормируемых значений скорости воздушного потока в рабочей зоне, обеспечивая требуемый воздухообмен в помещении. Число рядов перфорации, а также угол распределения воздушного потока подбирается индивидуально в каждом из случаев. Кроме этого, ряды перфорации могут быть расположены как отдельными участками, так и равномерно по всей длине текстильного воздухораспределителя. Этот вид перфорации может применяться в культовом здании с большой высотой. Направление перфорации в бок позволяет разместить воздуховоды вдоль стен, колонн и арок, что, в свою очередь, не будет

нарушать внешний вид залов культового здания. Перфорация, выполненная таким образом, позволит направить воздушный поток ближе к центру помещения.

Рассмотрена работа воздухораспределителя с микроперфорацией 45°, направленной под углом 125°, длиной 20 м (рисунок, б).

Направленная таким образом микроперфорация позволит более сосредоточенно подавать воздух в помещение с небольшими скоростями. Однако, как и первый, экспериментальный образец с микроперфорацией, лучше использовать в невысоких помещениях.

Из всего выше представленного можно сделать вывод, что с помощью текстильных воздухораспределителей можно создать оптимальные условия микроклимата в культовых зданиях с соблюдением всех санитарно-гигиенических норм.

#### **Библиографический список**

1. Культовые здания и сооружения. Здания, сооружения и комплексы православных храмов. Правила проектирования = Культавыя будынкi і збудаванні. Будынкi, збудаванні і комплексы праваслаўных храмаў. Правiлы праектавання: ТКП 45-3.02-83-2007. Введ. 01.04.2008. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. 46 с.
2. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «ENVIRONMENT PROTECTION – 2020» присвяченої Всесвітньому дню охорони довкілля 5 червня 2020 року. Випуск 1. Київ: Київського національного університету будівництва і архітектури; редкол.: Куліков П.М., Чернишев Д.О., Журавська Н.Є., 2020 г. 118 с.
3. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия = Вентыляцыя будынкаў. Паве́траразмеркавальныя прылады. Агульныя тэхнічныя ўмовы: ГОСТ 32548-2013. Введ. 11.06.2015. Минск: Госстандарт, 2016. 14 с.
4. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Аэродинамические испытания и оценка применения для вытесняющей вентиляции = Вентыляцыя будынкаў. Паве́траразмеркавальныя прылады. Аэрадынамічныя выпрабаванні і ацэнка прымянення для выцясняючай вентыляцыі: ГОСТ 32549-2013 (EN 12239:2001). Введ. 03.01.2006. Минск: Госстандарт, 2016. 12 с.

#### **Referenses**

1. Kul'tovye zdaniya i sooruzheniya. Zdaniya, sooruzheniya i komplekсы pravoslavnyh hramov. Pravila proektirovaniya = Kul'tavyya budynki i zbudavanni. Budynki, zbudavanni i komplekсы pravaslaўnyh hramaў. Pravily praektavannya: ТКП 45-3.02-83-2007. Vved. 01.04.2008. Minsk: Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2008. 46 s.
2. Zbirnik naukovih prac' Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї onlajn-konferencії «ENVIRONMENT PROTECTION – 2020» prisvyachenoї Vsesvitn'omu dnyu ohoroni dovkillya 5 chervnya 2020 roku. Vypusk 1. Kiiv: Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu budivnictva i arhitekturi; redkol.: Kulikov P.M., Chernishev D.O., ZHuravs'ka N.E., 2020 g. 118 s.

3. Ventilyaciya zdaniy. Vozduhoraspredelitel'nye ustrojstva. Obshchie tekhnicheskie usloviya = Ventylyacyya budynkaŭ. Pavetrarazmerkaval'nyya prylady. Agul'nyya tekhnichnyya ŷmovy: GOST 32548-2013. Vved. 11.06.2015. Minsk: Gosstandart, 2016. 14 s.

4. Ventilyaciya zdaniy. Vozduhoraspredelitel'nye ustrojstva. Aerodinamicheskie ispyta-niya i ocenka primeneniya dlya vytesnyayushchej ventilyacii = Ventylyacyya budynkaŭ. Pavetrarazmerkaval'nyya prylady. Aerodynamichnyya vyprabavanni i acenka prymanennyya dlya vycasnyayuchaj ventilyacyi: GOST 32549-2013 (EN 12239:2001). Vved. 03.01.2006. Minsk: Gosstandart, 2016. 12 s.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 18.04.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 29.04.2022*

*Принята к публикации / Accepted 10.05.2022*

*© Е.В. Кругликова, 2022*

---

#### **Сведения об авторе**

#### **List of Author**

---

*Кругликова Елена Владимировна* – магистрант Полоцкого государственного университета (Республика Беларусь).

*Elena Kruglikova* – Master Student, Polotsk State University (Republic of Belarus).

Ссылка для цитирования: *Кругликова Е.В.* Исследование текстильных воздуховодов с перфорацией для обеспечения вентиляции в культовых зданиях // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 2. С. 56 - 60. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-2-56-60.

For citation: *Kruglikova E.V.* Investigation of perforated textile air ducts for ventilation in places of worship // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 2. P. 56 - 60. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-2-56-60.

## Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

**05.12.00 – Радиотехника и связь.**

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

**05.02.00 – Машиностроение и машиноведение**

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

**05.27.00 – Электроника.**

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

**05.22.00 – Транспорт.**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

**25.00.00 – Науки о Земле.**

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. 25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. 25.00.35 – Геоинформатика.

**05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.**

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодовоовощной продукции и виноградарства. 05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств. 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

**05.23.00 – Строительство.**

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

**05.17.00 – Химическая технология.**

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов. 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
итоги и перспективы  
2022 № 2 (Том 3)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2022 № 2 (Vol. 3)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.  
Компьютерная верстка – Алиева П.А.  
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 02.07.2022 г. Дата выхода в свет 09.07.2022 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 101

Электронная версия журнала  
«Научные исследования: итоги и перспективы»  
размещена на сайте [www.dstu.ru](http://www.dstu.ru)

Учредитель/редакция/издатель  
Дагестанский государственный технический университет  
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.  
Тел. +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru)

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.  
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

**“ ф о р м а т ”**