

ISSN 2713-220X



НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2024 № 1 (Том 5)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2024 № 1 (Том 5)

СОДЕРЖАНИЕ

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ

Алибеков А.К., Агаханов Э.К. Увеличение пропускной способности трубопровода с помощью вставки

3

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

Храмов К.К., Смирнов М.С., Лагунов И.Р. Расчет геометрических и временных параметров циклограммы радиолокатора космического базирования с синтезированием апертуры на основе активной фазированной антенной решетки

8

Кривец А.С., Дудников И.А., Штеренберг С.И. Внедрение нейронных сетей и нестандартная автоматизация экосистемы умного дома и голосового помощника

19

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Бобылева К.А. Исследование технологий гранулирования алюминиевых сплавов и алюминидов никеля в условиях значительной интенсификации теплоотвода и увеличения скоростей кристаллизации

26

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бачинская Н.А., Орлова Ю.С., Нестеренко И.С. Определение сульфаминокислоты таурина в желтках яиц перепелов методом капиллярного электрофореза

35

Локачук М.Н., Савкина О.А., Павловская Е.Н., Фролова Ю.М. Биотехнологические свойства молочнокислых бактерий, выделенных из хлебных заквасок

41

Нуреева Р.Н., Феофилова Д.С., Черепанов И.С. Изучение группового и компонентного состава растительных экстрактов с применением методов разделения и спектральной идентификации

48

Пашкевич М.А., Коротаева А.Э., Петров Д.С. Закономерности накопления металлов прибрежно-водной растительностью

55

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Коновалова М.В., Верещагина Э.И. История развития архитектуры быстровозводимого мобильного жилища

62

Правила оформления и представления статей

70

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

Редакционная коллегия:

Н.Л. Баламирзоев, 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. Мурашкевич, 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.

ISSN 2713-220X

2024 № 1 (Vol. 5)

CONTENTS

SUBSOIL USE AND MINING SCIENCES <i>Alibekov A.K., Agakhanov E.K.</i> Increased throughput pipeline using an insert	3
ELECTRONICS, PHOTONICS, INSTRUMENT ENGINEERING AND COMMUNICATIONS <i>Khramov K.K., Smirnov M.S., Lagunov I.R.</i> Calculation of geometric and temporal parameters of the cyclogram of a space-based radar with aperture synthesis based on an active phased array antenna <i>Krivets A.S., Dudnikov I.A., Shterenberg S.I.</i> Implementation of neural networks and non-standard automation of the smart home and voice assistant ecosystem	8
CHEMICAL TECHNOLOGY, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY <i>Bobyleva K.A.</i> Study of technologies for granulating aluminum alloys and nickel aluminides under conditions of significant intensification of heat removal and increasing crystallization rates	19
AGRICULTURAL ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY <i>Bachinskaya N.A., Orlova Yu.S., Nesterenko I.S.</i> Determination of taurine sulfoamino acid in quail egg yolks by capillary electrophoresis <i>Lokachuk M.N., Savkina O.A., Pavlovskaya E.N., Frolova Yu.M.</i> Biotechnological properties of lactic acid bacteria isolated from bread starters <i>Nureyeva R.N., Feofilova D.S., Cherepanov I.S.</i> Study of the group and component composition of plant extracts using separation and spectral identification methods <i>Pashkevich M.A., Korotayeva A.E., Petrov D.S.</i> Metal accumulation patterns by coastal and aquatic vegetation	26
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE <i>Konovalova M.V., Vereshchagina E.I.</i> History of the development of the architecture of prefabricated mobile housing	35
Rules for writing and submitting articles	41
	48
	55
	62
	70

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

Editorial team:

N.L. Balamirzoev, 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)
R.M. Aliev, 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)
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 data bases 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.

ISSN 2713-220X

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ВСТАВКИ

А.К. Алибеков, Э.К. Агаханов

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367015, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-т И.Шамиля, 70
ali.dgtu@rambler.ru

Аннотация. Решена практическая задача увеличения пропускной способности существующих магистральных трубопроводов с помощью устройства вставки. Использована методика расчета гидравлически длинных трубопроводов при последовательном соединении с учетом различия в шероховатости вставки и основного трубопровода. Для области квадратичного сопротивления получены аналитические зависимости для решения любых типов задач по расчету трубопроводов со вставкой: нахождение напора, пропускной способности и параметров вставки.

Ключевые слова: диаметр и длина вставки, напор, расход жидкости, трубопровод.

Abstract. The practical problem of increasing the throughput capacity of existing main pipelines using an insertion device has been solved. The method of calculating hydraulically long pipelines in series connection is used, taking into account the difference in the roughness of the insert and from the main pipeline. For the area of quadratic resistance, analytical dependences are obtained for solving any type of problems for calculating pipelines with an insert: finding the pressure, throughput and insertion parameters.

Key words: diameter and length of insert, pressure, liquid flow rate, pipeline.

Введение

В условиях дальнейшего роста и модернизации производственных мощностей, урбанизации, по другим причинам возникает потребность в увеличении пропускной возможности существующих инженерных сетей. Один из экономичных способов решения задачи видится в замене отдельного участка трубопровода новым трубопроводом большего диаметра, называемого вставкой. И здесь возникает необходимость разработки методики гидравлического расчета диаметра вставки в зависимости от необходимой степени увеличения пропускной способности с учетом различия в шероховатости новой вставки и бывшего в эксплуатации основного трубопровода. Представляется интересным решение популярных вопросов – это обоснование места под-

ключения вставки, а также оптимальной длины вставки по отношению к ее диаметру.

Наличие соответствующих методических рекомендаций поможет проектировщикам и производственникам в своей работе на стадиях эскизного и технического проектирования, а студентам старших курсов – для принятия оптимальных (экономичных) вариантов в курсовом и дипломном проектировании.

Цель исследования

Цель состояла в установлении методики определения диаметра, длины и места установки вставки при условии обеспечения заданной пропускной способности длинного трубопровода для случая квадратичной области гидравлического сопротивления (рисунок 1).

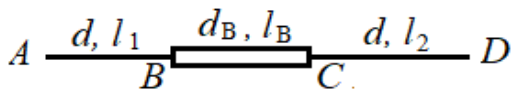


Рисунок 1 – Схема трубопровода со вставкой

Теоретические исследования

Принятый для исследования основной трубопровод AD диаметром d и общей длиной l при устройстве вставки BC будем рассматривать как три отдельных трубопровода AB , BC и CD соответственно протяженностью l_1 , l_B и l_2 и диаметрами d , d_B и d . Тогда расчетная схема сведется к случаю последовательного соединения трех трубопроводов с одинаковым расходом на всех участках и суммарными потерями напора по отдельным участкам H_i . Согласно [1, 2, 3] общие потери напора на участке AD

$$H = \Sigma H_i = (s_{AB}l_1 + s_{BC}l_B + s_{CD}l_2)Q_B^2, \quad (1)$$

где Q_B – расход жидкости, протекающий по трубопроводу при наличии вставки, s_{BC} , s_{AB} , s_{CD} – соответственно, удельные сопротивления участков трубопровода BC и AB , CD ,

$$s_{AB} = s_{CD} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5}, \quad s_{BC} = \frac{8\lambda_B}{g\pi^2 d_B^5}, \quad (2)$$

где λ_B , λ – соответственно, коэффициенты гидравлического трения, принятого для получения искомых зависимостей в явном виде из формулы Шифринсона [1]:

$$\lambda_B = 0,11 \left(\frac{\Delta_B}{d_B} \right)^{0,25}, \quad \lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где Δ_B , Δ – соответственно, абсолютная эквивалентная шероховатость участков трубопровода BC и AB , CD .

Подставим выражения (3) в (2), затем в (1) и с учетом $l_1 + l_2 = l - l_B$ получим:

$$H = \frac{0,88}{g\pi^2} \left[\frac{\Delta^{0,25}}{d^{5,25}} (l - l_B) + \frac{\Delta_B^{0,25}}{d_B^{5,25}} l_B \right] Q_B^2. \quad (4)$$

Отсюда получим зависимость для определения пропускной способности трубопрово-

да со вставкой

$$Q_B = \sqrt{\frac{Hg\pi^2}{0,88 \left(\frac{\Delta^{0,25}}{d^{5,25}} (l - l_B) + \frac{\Delta_B^{0,25}}{d_B^{5,25}} l_B \right)}}. \quad (5)$$

Таким образом, определение расхода подаваемой жидкости является сложной задачей, зависящей от 7 параметров: расход прямо пропорционален напору на концах трубопровода H и диаметрам существующей части d и вставки d_B , обратно пропорционален длинам участков l_B и l и их шероховатостям Δ_B и Δ .

На практике необходимо также знать диаметр вставки, обеспечивающий заданный расход Q_B . Из (4) выразим диаметр

$$d_B = \Delta_B^{0,05} l_B^{0,19} \cdot \left[\frac{Hg\pi^2}{0,88Q_B^2} - \frac{\Delta^{0,25}}{d^{5,25}} (l - l_B) \right]^{-0,19} \quad (6)$$

и длину вставки

$$l_B = \left(\frac{Hg\pi^2}{0,88Q_B^2} - \frac{\Delta^{0,25}}{d^{5,25}} l \right) \left(\frac{\Delta_B^{0,25}}{d_B^{5,25}} - \frac{\Delta^{0,25}}{d^{5,25}} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Имея зависимости (4) – (7), можно решить практически любую задачу расчета трубопроводов со вставкой: найти напор H , пропускную способность Q_B и параметры вставки d_B и l_B для случая квадратичной области сопротивления движения жидкости.

Определенные трудности возникают для неквадратичной области сопротивления, коэффициент трения λ будет зависеть от числа Рейнольдса и, возможно, от относительной шероховатости Δ/d . В этом случае решения, получаемые по (4) – (7), можно принимать в качестве первого приближения для выполнения последующих итераций или для применения методов решения неявных уравнений [1, 3].

Анализ результатов исследования

Алгоритм увеличения пропускной способности существующего трубопровода с помощью вставки покажем на численных примерах. Выше была указана многомерность постав-

ленной задачи. Отсюда вытекает, что если каждый параметр будет меняться хотя бы на трех уровнях, то необходимо рассчитать $N = 3^7 = 2187$ вариантов. При рассмотрении небольшого объема вариантов при меняющихся значениях определяющих параметров не будет охвачена вся область определения искомой функции, результаты расчетов и графики в большей степени будут носить качественный характер. Поэтому рекомендация будет заключаться в расчете конкретного практического случая, как в предлагаемых примерах.

В качестве существующих рассмотрим трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов [4] длиной $l = 3000$ м, с потерей напора на этой длине $H = 50$ м, диаметром $d = 200$ мм, на разных стадиях эксплуатации (разной шероховатости в силу разновременности возведения основного трубопровода и вставки

$\Delta/\Delta_B = 0,8, 1, 3, 6, 10$), переменных параметрах вставки: диаметр $d_B/d = 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ и относительная длина $l_B/l = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ (таблицы 1 и 2).

При указанных исходных значениях определяющих параметров по (5) найдена величина расхода жидкости, результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2, а также для большей наглядности представлены на рисунках 2 и 3. Можно было бы поступить и более простым и привлекательным способом для применения в частном случае: зная расход жидкости по существующей трубе, умножить на требуемую степень его увеличения и по (6) и (7) найти необходимые диаметр и длину вставки при увеличенном расходе. Однако ниже рассмотрим результаты более 50 расчетных вариантов для получения частичных закономерностей.

Таблица 1 – Расход трубопровода в зависимости от длины и диаметра вставки, м³/с

l_B/l	d_B/d				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,2	0,053	0,053	0,054	0,054	0,054
0,4	0,058	0,060	0,061	0,062	0,062
0,6	0,066	0,071	0,074	0,075	0,075
0,8	0,078	0,091	0,099	0,103	0,105
1,0	0,101	0,152	0,215	0,293	0,386

Таблица 2 – Расход трубопровода в зависимости от длины и шероховатости вставки, м³/с

l_B/l	Δ/Δ_B				
	0,8	1,0	3,0	6,0	10,0
0,2	0,053	0,053	0,054	0,054	0,054
0,4	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061
0,6	0,072	0,072	0,073	0,073	0,074
0,8	0,093	0,093	0,096	0,098	0,099
1,0	0,161	0,166	0,190	0,208	0,221

При указанных выше условиях проведения расчетов можно отметить увеличение расхода трубопровода со вставкой примерно до 4 раз при больших длинах вставки. При коротких длинах вставки увеличение ее диаметра не приводит к ощутимому увеличению расхода

подаваемой жидкости.

Что касается влияния шероховатости, то более существенно она сказывается также при больших длинах вставки и максимальном расхождении шероховатостей существующей трубы и вставки. Увеличение пропускной спо-

способности может достигать 40%.

Выбор места установки вставки будет диктоваться, в первую очередь, местными условиями. С гидравлической точки зрения представляется целесообразным возведение

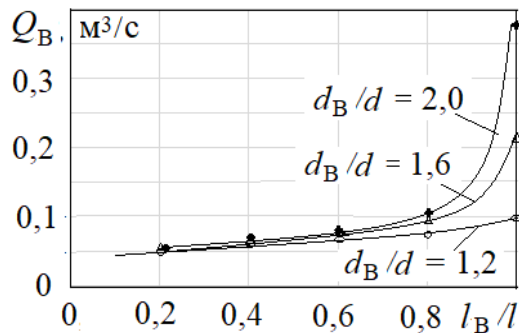


Рисунок 2 – Зависимости $Q_B = f(l_B/l, d_B/d)$

вставки в начале трубопровода из-за большей величины напора. Последнее соображение совпадает и с практикой: в начале трубы пользователей жидкости больше, а с удалением число пользователей уменьшается.

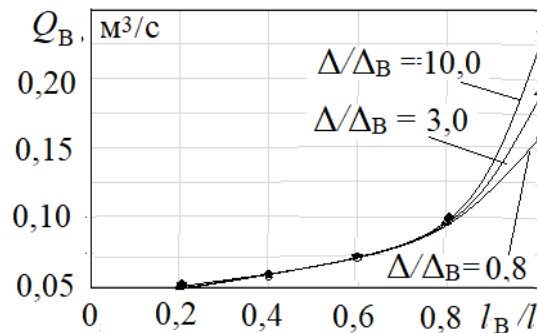


Рисунок 3 – Зависимости $Q_B = f(l_B/l, \Delta/\Delta_B)$

Заключение

1. Получены аналитические зависимости (4) – (7) для решения практических задач, возникающих при расчете длинных трубопроводов со вставкой: определение пропускной способности, напора в сети, диаметра и длины вставки для квадратичной области гидравлического сопротивления. При неквадратичной зоне сопротивления полученные результаты надо рассматривать как очень важное первое приближение при решении получающихся неявных зависимостей.

2. Показана многомерность поставленной задачи и на основе выборки объемом 50 расчетных вариантов получены результаты, представленные в таблицах 1 и 2, а также на рисунках 2 и 3. Можно отметить заметное

увеличение пропускной способности трубопровода при возведении длинных вставок и в случаях долгой эксплуатации существующего трубопровода, когда его шероховатость сильно отличается от шероховатости вставки.

3. Для решения конкретной практической задачи методику увеличения расхода существующего трубопровода со вставкой можно рекомендовать следующей: зная новое значение требуемого расхода жидкости, напор и другие параметры, по (6) и (7) найти диаметр и длину вставки.

4. Результаты проведенного исследования могут быть полезными в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также при реконструкции существующих инженерных сетей.

Библиографический список

1. Алибеков А.К. Основы гидравлики: теория и практика: учебное пособие. Махачкала: ДГТУ, 2016. 172 с.
2. Алибеков А.К., Ирзаев Г.Х. Расчет длинных трубопроводов с лупингом // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. 2021. № 11 (53). С. 9-12.
3. Сборник задач по гидравлике и газовой динамике для нефтегазовых вузов / Под ред. Кадета В.В. М.: Изд. «Грифон», 2007. 320 с.
4. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

References

1. Alibekov A.K. Osnovy gidravliki: teoriya i praktika: uchebnoe posobie. Mahachkala: DGTU, 2016. 172 s.
2. Alibekov A.K., Irzaev G.H. Raschet dlinnyh truboprovodov s lupingom // Vestnik Luganskogo nacional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalya. 2021. № 11 (53). S. 9-12.

3. Sbornik zadach po gidravlike i gazovoj dinamike dlya neftegazovyh vuzov / Pod red. Kadeta V.V. M.: Izd. «Grifon», 2007. 320 s.

4. GOST 31447-2012. Truby stal'nye svarnye dlya magistral'nyh gazoprovodov, nefteprovodov i nefteproduktprovodov. M.: Standartinform, 2013. 32 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 09.01.2024

Одобрена после рецензирования / Revised 29.01.2024

Принята к публикации / Accepted 08.02.2024

© А.К. Алибеков, Э.К. Агаханов, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Алибеков Али Казибекевич – кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

Ali Alibekov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering, Daghestan State Technical University.

Агаханов Элифхан Керимханович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов Дагестанского государственного технического университета.

Elifkhan Agakhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Highways, Grounds and Foundations, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алибеков А.К., Агаханов Э.К.* Увеличение пропускной способности трубопровода с помощью вставки // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 3 - 7. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-3-7.

For citation: *Alibekov A.K., Agakhanov E.K.* Increased throughput pipeline using an insert // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 3 - 7. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-3-7.

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛОГРАММЫ РАДИОЛОКАТОРА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ НА ОСНОВЕ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

К.К. Храмов, М.С. Смирнов, И.Р. Лагунов

Муромский институт Владимирского государственного университета, Муром
602264, Россия, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23
hramovkk@gmail.com

Аннотация. Частота повторения импульсов является важным параметром космических радиолокаторов с синтезированием апертуры. Она влияет на другие параметры системы радиолокаторов с синтезированием апертуры и зависит от них. В работе проводится расчет доступных значений частоты повторения импульсов как функций параметров космического радиолокатора с синтезированием апертуры с активной фазированной антенной решеткой. Получены выражения и приведены зависимости допустимых значений частоты повторения импульсов системы радиолокаторов от параметров съемки в маршрутном режиме. Исследование поможет разработчику системы определить подходящие параметры радиолокатора с синтезированием апертуры.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решетка, орбита спутника, поляризация, приемо-передающий модуль, радиолокатор с синтезированием апертуры, частота повторения импульсов.

Abstract. Pulse repetition rate is an important parameter for spaceborne synthetic aperture radars. It influences and is dependent on other parameters of the synthetic aperture radar system. The work calculates the available values of the pulse repetition frequency as a function of the parameters of a space-based synthetic aperture radar with an active phased array antenna. Expressions are obtained and the dependences of the permissible values of the pulse repetition frequency of the radar system on the survey parameters in route mode are given. The study will help the system designer determine suitable parameters for a synthetic aperture radar.

Key words: active phased array antenna, satellite orbit, polarization, transceiver module, synthetic aperture radar, pulse repetition frequency.

Введение

Радиолокаторы с синтезированием апертуры (РСА) антенны, размещаемые на базе космических аппаратов – это когерентные системы, в которых в большинстве случаев применяется импульсный режим работы [1, 2]. Такой режим расширяет возможности систем РСА и позволяет упростить радиотракт и антенно-фидерное устройство. Вместе с тем применение периодической структуры сигнала

способно привести к проблемам неоднозначности в РСА [1, 2, 3]. Особую актуальность эта проблема приобретает в РСА на базе малых космических аппаратов. Для решения проблем неоднозначности по азимуту и дальности отечественными и зарубежными авторами предлагаются различные приемы и методы, например, применение систем сложных зондирующих сигналов [4].

Вместе с тем важными параметрами РСА, влияющими на однозначность измерений в частотной и временной областях, являются период T и частота повторения импульсов $PRF = 1/T$. На выбор значений частоты повторения импульсов влияют геометрические параметры зондирования и ряд технических параметров РСА [5].

Постановка задачи

Рассмотрим геометрию съемки космического РСА, работающего в режиме нормального бокового обзора (рисунок 1). Максимальное значение наклонной дальности R_0 в РСА космического базирования составляет сотни километров, поэтому для достижения однозначности измерений по угломестной координате учитываются задержки сигнала не по величине R_0 , а в полосе обзора ΔY [1, 2, 4]. При этом максимальная частота повторения импульсов PRF_{\max} является функцией высоты орбиты космического аппарата H , угла визирования β , ширины θ_y диаграммы направленности антенны РСА в угломестной плоскости и определяется выражением [5]:

$$PRF_{\max}(\beta, H) = \frac{c}{2 \cdot \Delta R(\beta, H)}. \quad (1)$$

Анализ этого выражения показывает, что значение PRF_{\max} будет возрастать при уменьшении угла визирования.

Для расчета минимальной частоты повторения импульсов PRF_{\min} используется равенство [1]

$$PRF_{\min} = 2F_{\Delta \max} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot L_{ca}}{\lambda \cdot R_0}, \quad (2)$$

где $F_{\Delta \max}$ – максимальное доплеровское отклонение частоты отраженного сигнала на краях синтезированной апертуры длиной L_{ca} ; V_0 – орбитальная скорость космического аппарата; λ – длина волны излучаемого сигнала. Из выражения (2) следует, что в пределах снимаемой сцены в азимутальной плоскости PRF_{\min} слабо зависит от значений H и β

Выражения (1) и (2) определяют лишь границы допустимых для заданных параметров системы РСА значений частоты повторения зондирующих импульсов и не дают разработчику исчерпывающих данных, которые

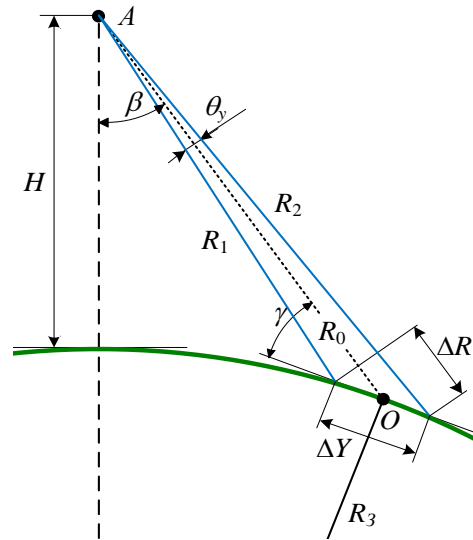


Рисунок 1 – Геометрия съемки в режиме нормального бокового обзора

могли бы позволить окончательно выбрать величину PRF . Причина этого заключается в том, что при использовании в радиолокаторе одной антенны для передачи и приема сигналов, приемник оказывается заблокированным на время излучения импульса, что приводит к появлению «слепых» дальностей [1, 2, 3, 5, 6]. Кроме того, на диапазоны допустимых значений PRF оказывают влияние особенности аппаратной реализации приемника и передатчика РСА.

Рассмотрим РСА космического базирования, антенная система которых представляет собой активную фазированную антенную решетку (АФАР) [7, 8, 9]. Применение АФАР позволяет повысить производительность РСА за счет использования эффективных режимов обзора и качества синтеза радиолокационных изображений [1, 2]. Кроме того, в [1, 9, 10] показано, что реализация поляризационного приема при использовании АФАР позволяет повысить пространственное разрешение РСА, частично решить проблему с помехами неоднозначности, а также повысить качество систем обнаружения движущихся объектов.

Ключевыми элементами АФАР являются приемо-передающие модули (ППМ). Выполним анализ следующих вариантов построения ППМ, важных с точки зрения реализации поляризационных режимов съемки: одноканальный ППМ и ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником [9, 10].

Обобщенная структура одноканального ППМ показана на рисунке 2. ППМ также со-

держит ответвитель цепей калибровки и контроля.

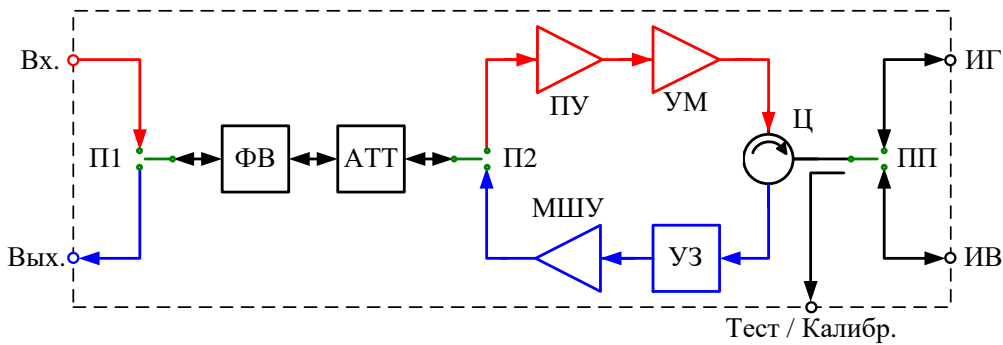


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема одноканального приемо-передающего модуля. Обозначения: ФВ – фазовращатель; АТТ – аттенюатор; ПУ – предварительный усилитель; УМ – усилитель мощности; Ц – циркулятор; УЗ – устройство защиты; МШУ – малошумящий усилитель; П1, П2 – переключатели режимов «прием-передача»; ПП – переключатель поляризации; ИГ – антенный излучатель с горизонтальной поляризацией; ИВ – антенный излучатель с вертикальной поляризацией

Использование одноканальных ППМ обуславливает необходимость временного разделения поляризации при передаче и приеме. Поэтому в таких ППМ могут быть организованы режимы линейной и кросс-поляризации (рисунок 3). В каждом цикле зондирования предусматриваются временные интервалы τ_1 и τ_2 , предназначенные для переключения режимов «прием-передача», положения луча в зоне обзора, а также режима поляризации. На

рисунок 3 обозначены: N_c – количество импульсов, используемых для синтеза апертуры; T_{np} – длительность строка приёмника; $T_{np \min}$ – минимальная длительность строка приёмника; T_1 – время задержки отраженного сигнала, которое определяется соотношением

$$T_1(\beta, H) = \frac{2 \cdot R_{0 \min}(\beta, H)}{c} = \frac{2 \cdot R_1(\beta, H)}{c}. \quad (3)$$

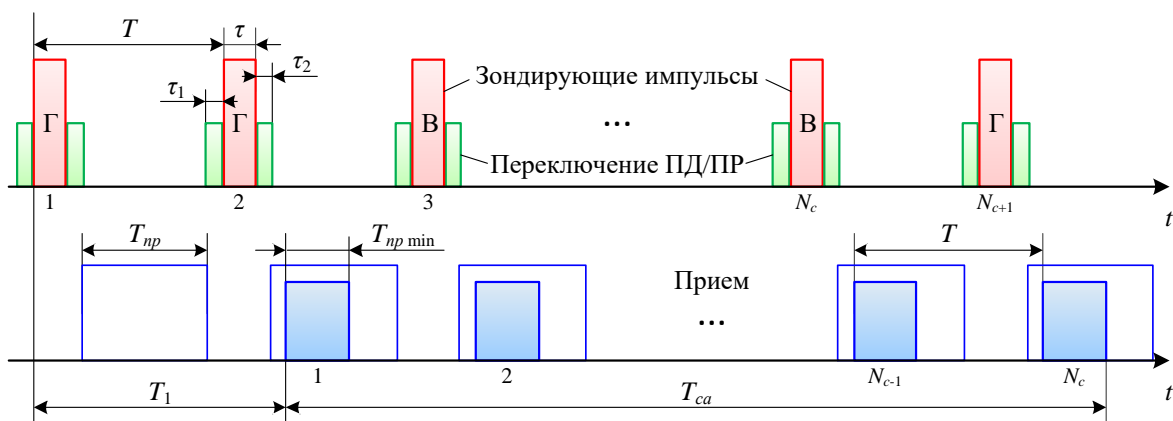


Рисунок 3 – Временные диаграммы работы ПСА в режимах простой и перекрестной поляризации

Частично увеличить длительность строка приёмника T_{np} позволяет схема ППМ с одноканальным передатчиком и двухканальным приемником (рисунок 4). Модуль имеет возможность реализации режимов двойной линейной поляризации (В/В+Г, Г/В+Г). При этом время полного поляризационного анализа со-

кращается вдвое по сравнению с одноканальным ППМ [9, 10]. К недостаткам схемы относится увеличенное количество управляемых фазовращателей и аттенюаторов и необходимость выравнивания характеристик приемных каналов.

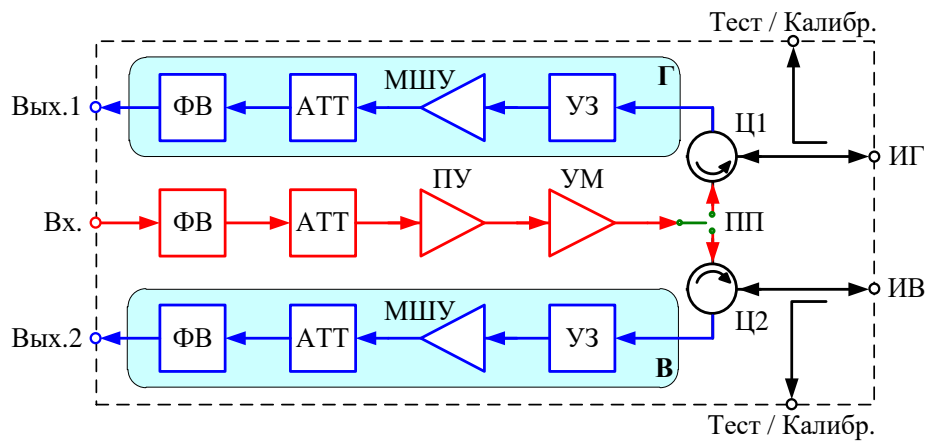


Рисунок 4 – Обобщенная структурная схема ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником

Временные диаграммы режима двойной поляризации представлены на рисунке 5. Полный цикл поляризационного зондирования выполняется за два периода следования зондирующего сигнала. Передатчик с помощью переключателя поляризации поимпульсно переключается на излучатели с горизонтальной ИГ и вертикальной ИВ поляризацией. Прием ведется одновременно на оба канала – В и Г. Как отмечалось выше, в ППМ, приведенном на рисунке 5, отсутствует интервал переключения поляризации τ_2 , что позволяет получить небольшой (2...10 мкс) запас по времени [10, 11].

Ограничения на частоту повторения импульсов

С учетом равенства (1) и построений рисунка 3 определим максимальную частоту повторения импульсов $PRF_{1\max}$ для одноканального ППМ, которая обеспечивает прием отраженных сигналов во всей полосе обзора ΔY космического аппарата

$$PRF_{1\max}(\beta, H) = \frac{c}{2[\Delta R(\beta, H) + 2\Delta r + \Delta r_1 + \Delta r_2]}, \quad (4)$$

где $\Delta r = 0,5c\tau$, $\Delta r_1 = 0,5c\tau_1$, $\Delta r_2 = 0,5c\tau_2$.

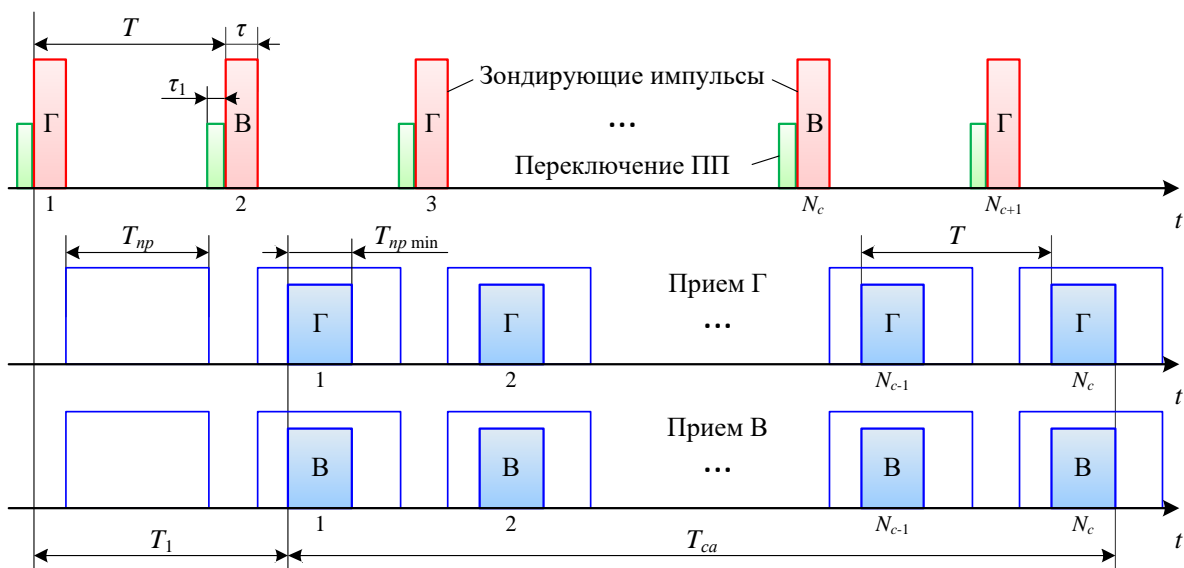


Рисунок 5 – Временные диаграммы работы РСА в режиме двойной линейной поляризации

Из последнего выражения видно, что максимальная частота повторения импульсов об-

ратно пропорциональна удвоенной сумме расстояния ΔR и дистанций, преодолеваемых

зондирующим сигналом за интервалы времени 2τ , τ_1 и τ_2 .

Аналогичное равенство для схемы, приведенной на рисунке 4, имеет вид

$$PRF_{2\max}(\beta, H) = \frac{c}{2[\Delta R(\beta, H) + 2\Delta r + \Delta r_1]}, \quad (5)$$

откуда следует, что ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником

$$T_{np\min}(\beta, H) = \frac{2[R_2(\beta, H) - R_1(\beta, H)]}{c} + \tau = \frac{2\Delta R(\beta, H)}{c} + \tau. \quad (6)$$

Из временных диаграмм следует, что при выборе частоты повторения импульсов необходимо, чтобы отраженный сигнал длительностью $T_{np\min}$ не превышал в строб приемника T_{np} , т.е. выполнялись ограничения (с учетом интервала T_1)

- для одноканального ППМ (рисунок 2), который для упрощения условимся называть «схема 1»,

$$\frac{k}{T_1 - \tau - \tau_2} \leq PRF_1 \leq \frac{k+1}{T_1 + T_{np\min} + \tau_1}; \quad (7)$$

$$T_{np\min} \leq T_{np},$$

где $k = 1, 2, \dots, N_1$; N_1 – количество зондирующих импульсов, излученных за время T_1 ;

имеет более широкую верхнюю границу значений максимальной частоты повторения импульсов.

Рисунок 1 позволяет определить минимальную длительность строба приёмника $T_{np\min}$ для импульса, отраженного от облучаемой сцены:

- для ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником (рисунок 4), который в дальнейшем будем называть «схема 2»,

$$\frac{k}{T_1 - \tau} \leq PRF_2 \leq \frac{k+1}{T_1 + T_{np\min} + \tau_1}; \quad (8)$$

$$T_{np\min} \leq T_{np}.$$

Результаты расчетов

На основании полученных ограничений выполним расчет допустимых значений частоты повторения импульсов для двух рассмотренных структур ППМ активных фазированных антенных решеток РСА космического базирования. Зададимся следующими значениями основных параметров РСА (таблица).

Таблица – Исходные значения параметров радиолокатора с синтезированием апертуры

Параметр	λ , м	H , км	δ , м	β , градусы	θ_y , градусы	τ , мкс	$\tau_1 = \tau_2$, мкс
Значение	0,03	500	1,8	45	0,5	25	8

На рисунке 6 представлены диаграммы, позволяющие выбрать допустимые значения частоты повторения импульсов, для схемы 1 (рисунок 6, а) и для схемы 2 (рисунок 6, б) при различных углах визирования β . Расчет диаграмм проводился для параметров РСА, указанных в таблице, в соответствии с условиями (7) и (8). Ограничительные линии PRF_{\min} , $PRF_{1\max}$ и $PRF_{2\max}$ определяются, соответственно, равенствами (2), (4) и (5). Светлые области на диаграммах соответствуют значениям частоты повторения импульсов, при которых условия (7) и (8) не выполняются, и нормальная работа РСА невозможна. Цветные

участки соответствуют допустимым значениям этого параметра.

Анализ приведенных диаграмм позволяет заключить, что при увеличении угла визирования β достаточно резко уменьшается значение PRF_{\max} и усложняется выбор подходящей частоты повторения импульсов. Такая зависимость обусловлена ростом длительности $T_{np\min}$ из-за увеличения ширины полосы обзора ΔY при больших углах визирования. Отсутствие интервала τ_2 переключения поляризации после окончания зондирующего сигнала в схеме 2 способствует расширению об-

ласти допустимых значений PRF , что особенно заметно при малых β (рисунок 6, б).

Уменьшение длительности τ зондирующих импульсов также приводит к пропорциональному расширению границы допустимых значений частоты повторения импульсов при

малых углах визирования (рисунок 7). Однако с ростом β этот эффект практически исчезает. Таким образом, длительность зондирующих импульсов оказывает значительное влияние на PRF_{max} лишь при $\beta < (50...55)^\circ$.

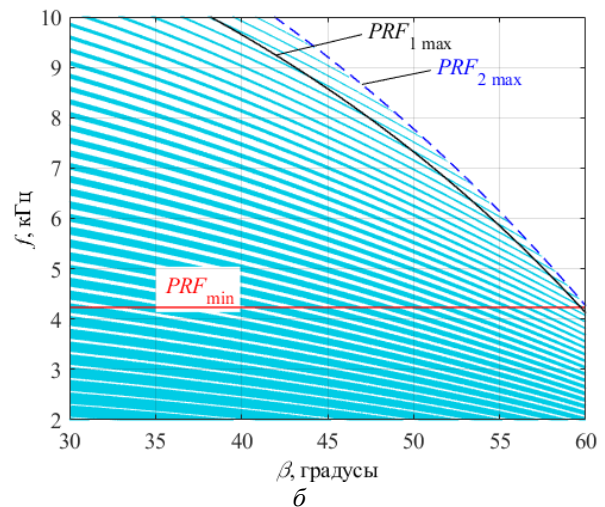
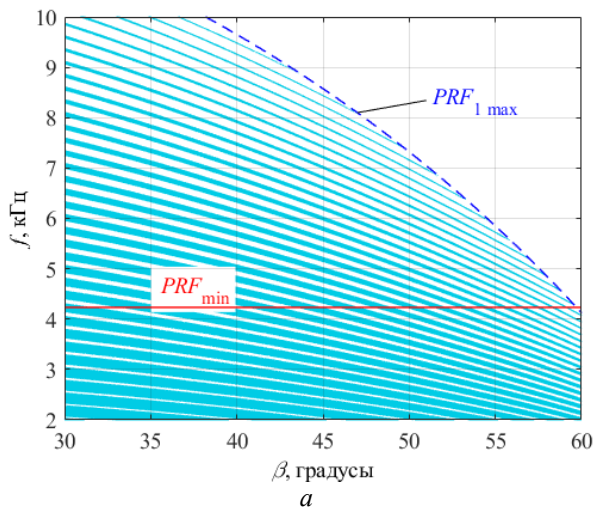


Рисунок 6 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении угла визирования β

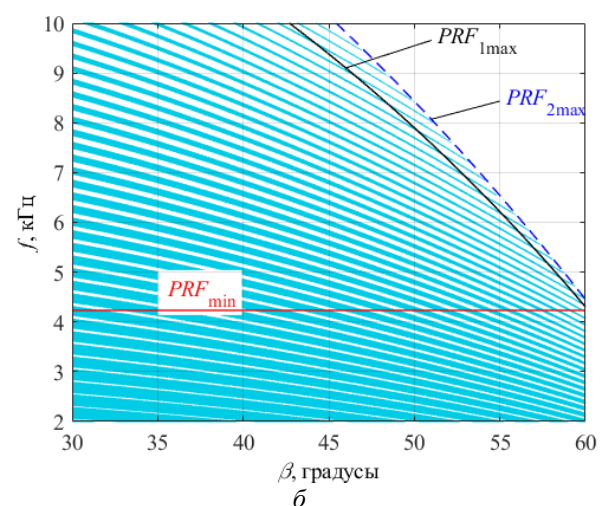
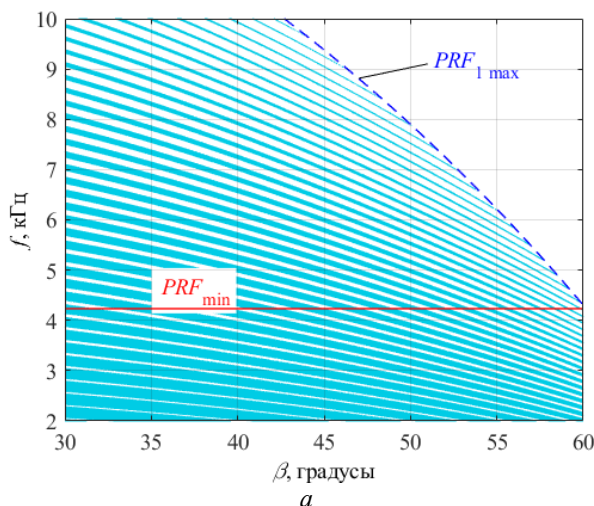


Рисунок 7 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении угла визирования β и уменьшении длительности зондирующих импульсов до $\tau = 20$ мкс

На рисунке 8 представлены диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов, полученные при одновременном влиянии двух факторов, – увеличении высоты орбиты космического аппарата до $H = 550$ км и расширении диаграммы направленности антенны в угломестной и азимутальной плоскостях до значения $\theta_y = \theta_x = 0,7^\circ$.

Как следует из анализа полученных диаграмм, рост высоты орбиты при неизменном β и расширение диаграммы направленности антенны в угломестной плоскости приводят к расширению полосы обзора ΔY и, как следствие, к уменьшению границы PRF_{max} , а расширение диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости является причиной

возрастания значения PRF_{\min} , что также следует непосредственно из выражения (2). В совокупности эти факторы значительно сужают диапазон допустимых значений частоты повторения импульсов.

Учет расширения диаграммы направленности антенны является особенно актуальным для РСА на базе малых космических аппаратов, имеющих, как правило, меньшую площадь антенны [12,13].

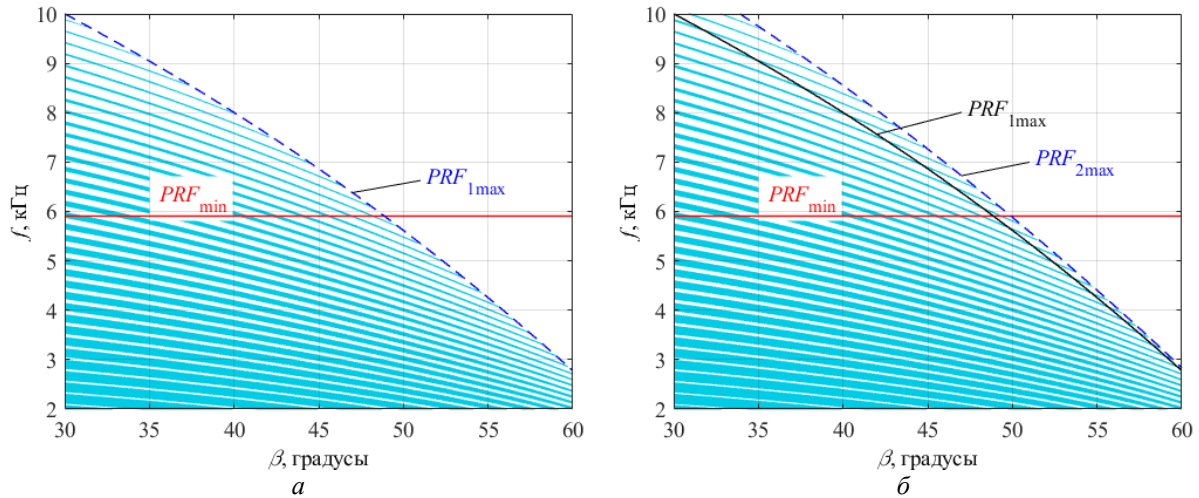


Рисунок 8 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении угла визирования β увеличении высоты орбиты космического аппарата до $H = 550$ км и расширении диаграммы направленности антенны до $\theta = 0,7^\circ$

На рисунке 9 приведены диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов при изменении высоты орбиты носителя РСА и неизменной области обзора. Видно, что с ростом H наблюдается небольшое увеличение значений $PRF_{1\max}$ и $PRF_{2\max}$, что вызвано уменьшением угла визирования. Допустимые значения частоты по-

вторения импульсов при одном значении высоты могут не удовлетворять условию однозначности измерений по дальности при другом ее значении. Поэтому при изменении высоты, например, из-за некруговой орбиты спутника, может потребоваться изменение частоты повторения импульсов.

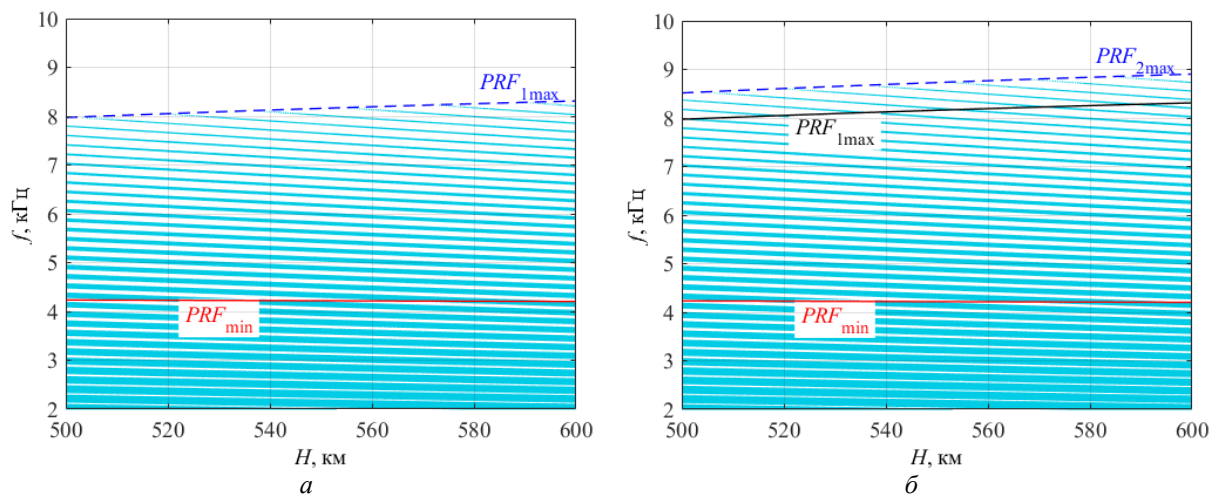


Рисунок 9 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении высоты H орбиты космического аппарата (область обзора неизменна)

Использование схемы 2 в качестве ППМ, также как и при изменении β , расширяет границу максимально возможной частоты повторения импульсов (рисунок 7, б). При этом разность $(PRF_{2\max} - PRF_{1\max})$ при изменении H остается постоянной, в отличие от рисунков 6, 7, 8.

Уменьшение длительности зондирующих импульсов (рисунок 10) позволяет расширить диапазон допустимых значений частоты повторения импульсов, однако характер такого изменения, в отличие от рисунка 7, иной. При изменении высоты орбиты космического аппарата граница PRF_{\max} смещается равномерно

во всем диапазоне значений H . Расширение диаграммы направленности антенны по азимуту и углу места (рисунок 11) приводит к резкому сужению диапазона допустимых значений частоты повторения импульсов во всем диапазоне изменения H за счет одновременного смещения границ PRF_{\min} и PRF_{\max} . Известным способом преодоления этого недостатка является использование прямоугольной фазированной антенной решетки, имеющей различную ширину диаграммы направленности вдоль и поперек линии пути космического аппарата [13].

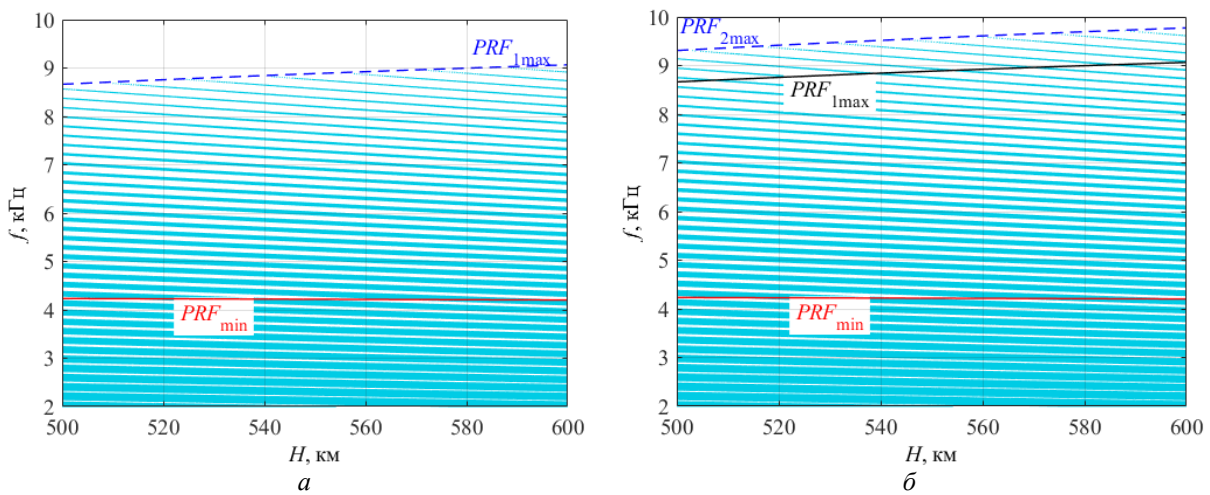


Рисунок 10 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении высоты H орбиты космического аппарата и уменьшении длительности зондирующих импульсов до $\tau = 20$ мкс (область обзора неизменна)

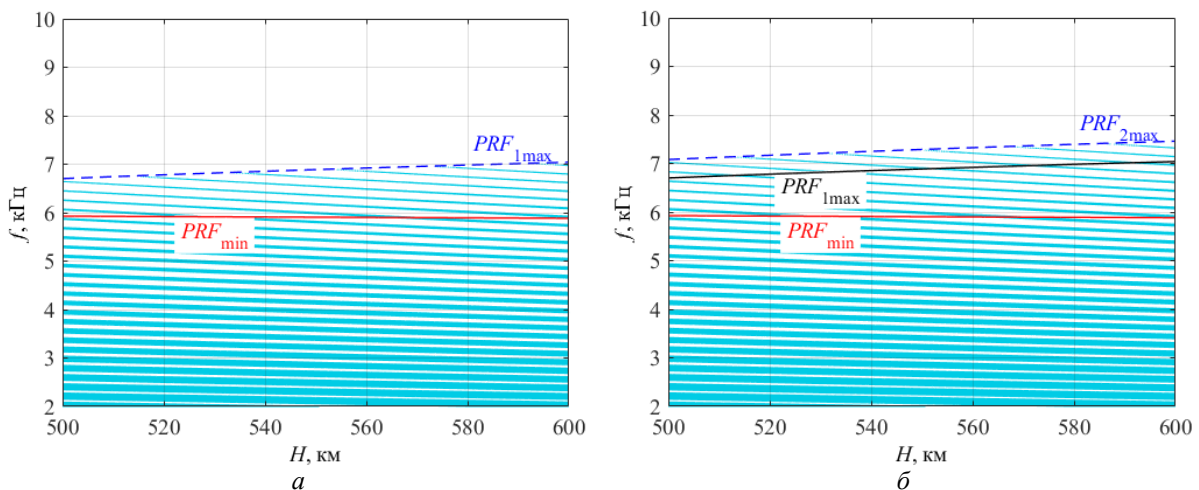


Рисунок 11 – Диаграммы распределения допустимых значений частоты повторения импульсов для схемы 1 (а) и схемы 2 (б) при изменении высоты H орбиты космического аппарата и расширении диаграммы направленности антенны до $\theta = 0,7^\circ$ (область обзора неизменна)

Заключение

Частота повторения зондирующих импульсов является важным параметром РСА. Выбор ее значения влияет на такие системные параметры, как импульсная мощность передатчика, скважность импульсов и требуемая скорость обработки данных.

Диапазоны допустимых значений частоты повторения импульсов ограничиваются не только своими предельными границами, но и содержат зоны недопустимых значений, поэтому некоторые комбинации параметров съемки могут быть нереализуемы.

В работе рассмотрены схемы одноканального ППМ и ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником, которые используются в качестве элементов АФАР систем РСА космического базирования. При-

ведены временные диаграммы работы РСА с такими ППМ в режиме бокового обзора.

Для рассмотренных ППМ были получены выражения, позволяющие найти допустимые значения частоты повторения импульсов. Построены диаграммы распределения реализуемых значений PRF при изменении угла визирования и высоты орбиты носителя РСА. Использование в составе АФАР ППМ с общим передающим каналом и двухканальным приемником дает возможность расширить границу максимально возможной частоты повторения импульсов в системе РСА.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда №23-29-10114 (<https://rscf.ru/project/23-29-10114/>).

Библиографический список

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
2. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 531 с.
3. Воздушная разведка. Автоматизированное дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. И.К. Антонова. М.: Радиотехника, 2021. 368 с.
4. Карпов О.А., Рабочий А.Н., Толстов Е.Ф., Фёдоров В.С., Костров В.В. Проблемы неоднозначности в космических РСА и коды Голда // Всероссийские открытые Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром: МИ ВлГУ, 2023. С. 375-384.
5. Храмов К.К., Костров В.В. Расчет временных параметров съемки при моделировании радиолокационных изображений РСА космического базирования // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020: сб. тр. III междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.1. / Под общ. ред. О.В. Миловзорова. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020. С. 36-41.
6. Doudar I., Safy M. and Saleh A. Parametric evaluation of PRF availability for a space borne SAR, 2017. International Conference on Control Automation and Diagnosis (ICCAD), 2017, pp. 287-291.
7. Khramov K.K. and Kostrov V.V. Aspects of building the digital transmit-receive modules of active electronically scanned arrays, 2014. 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, Sevastopol, Ukraine, 2014, pp. 111-112.
8. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Кудря А.И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Техносфера, 2020. 482 с.
9. Гришин В.Ю., Костров В.В. Архитектура приемо-передающих модулей АФАР поляриметрических радиолокационных станций // Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы 14-й международной научно-технической конференции / ВлГУ; редкол.: А.Г. Самойлов (и др.). Владимир: ВлГУ, 2021. С. 48-54.
10. Костров В.В., Храмов К.К. Организация поляриметрических режимов съемки в радиолокаторах с синтезированной апертурой космического базирования // Всероссийские открытые Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром: МИ ВлГУ, 2023. С. 283-293.
11. Кочемасов В., Дингес С., Шадский В. Твердотельные СВЧ-переключатели средней и большой мощности. Ч. 1 // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2019. № 8. С. 108-112.

12. Freeman A. Design Principles for Smallsat SARs // 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2018, Logan, UT, 2018.

13. Современные подходы к созданию малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на базе унифицированных платформ: монография / С.Л. Сафронов [и др.]; под ред. Засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В.В. Салмина. Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. 276 с.

Referenses

1. Verba V.S., Neronskij L.B., Osipov I.G., Turuk V.E. Radiolokacionnye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya / Pod red. V.S. Verby. M.: Radiotekhnika, 2010. 680 s.

2. Radiolokacionnye sistemy vozduшной razvedki, deshifrirovaniye radiolokacionnyh izobra-zhenij / Pod red. L.A. Shkol'nogo. M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2008. 531 s.

3. Vozdushnaya razvedka. Avtomatizirovannoe deshifrirovaniye radiolokacionnyh izobrazhenij / Pod red. I.K. Antonova. M.: Radiotekhnika, 2021. 368 s.

4. Karpov O.A., Rabochij A.N., Tolstov E.F., Fyodorov V.S., Kostrov V.V. Problemy neodnoznachnosti v kosmicheskikh RSA i kody Golda // Vserossiyskie otkrytye Armandovskie chteniya [Elektronnyj resurs]: Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya, radiolokacii, rasprostraneniya i difrakcii voln / Materialy Vserossiyskoj otkrytoj nauchnoj konferencii. Murom: MI VIGU, 2023. S. 375-384.

5. Hramov K.K., Kostrov V.V. Raschet vremennyh parametrov s"emki pri modelirovanii radiolokacionnyh izobrazhenij RSA kosmicheskogo bazirovaniya // Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2020: sb. tr. III mezhdunar. nauch.-tekhn. foruma: v 10 t. T.1. / Pod obshch. red. O.V. Milovzorova. Rya-zan': Ryazan. gos. radiotekhn. un-t, 2020. S. 36-41.

6. Douidar I., Safy M. and Saleh A. Parametric evaluation of PRF availability for a space borne SAR, 2017. International Conference on Control Automation and Diagnosis (ICCAD), 2017, pp. 287-291.

7. Khramov K.K. and Kostrov V.V. Aspects of building the digital transmit-receive modules of active electronically scanned arrays, 2014. 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, Sevastopol, Ukraine, 2014, pp. 111-112.

8. Gruzдов V.V., Kolkovskij Yu.V., Krishtopov A.V., Kudrya A.I. Novyye tekhnologii distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. M.: Tekhnosfera, 2020. 482 s.

9. Grishin V.Yu., Kostrov V.V. Arhitektura priemo-peredayushchih modulej AFAR polyarimetricheskikh radiolokacionnyh stancij // Perspektivnyye tekhnologii v sredstvakh peredachi informacii: materialy 14-j mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii / VIGU; redkol.: A.G. Samojlov (i dr.). Vladimir: VIGU, 2021. S. 48-54.

10. Kostrov V.V., Hramov K.K. Organizaciya polyarimetricheskikh rezhimov s"emki v radiolokatorah s sintezirovannoj aperturoj kosmicheskogo bazirovaniya // Vserossiyskie otkrytye Armandovskie chteniya [Elektronnyj resurs]: Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya, radiolokacii, rasprostraneniya i difrakcii voln / Materialy Vserossiyskoj otkrytoj nauchnoj konferencii. Murom: MI VIGU, 2023. C. 283-293.

11. Kochemasov V., Dinges S., Shadskij V. Tverdotel'nye SVCH-pereklyuchately srednej i bol'shoj moshchnosti. CH. 1 // Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes. 2019. № 8. S. 108-112.

12. Freeman A. Design Principles for Smallsat SARs // 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2018, Logan, UT, 2018.

13. Sovremennyye podhody k sozdaniyu malyh kosmicheskikh apparatov distancionnogo zondirovaniya Zemli na baze unificirovannyh platform: monografiya / S.L. Safronov [i dr.]; pod red. Zasl. deyatelya nauki RF, d-ra tekhn. nauk, prof. V.V. Sалмина. Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2019. 276 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 02.11.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 21.12.2023

Принята к публикации / Accepted 02.02.2024

© К.К. Храмов, М.С. Смирнов, И.П. Лагунов, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Храмов Константин Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Муромского института Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Konstantin Khramov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Murom Institute, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

Смирнов Михаил Станиславович – старший преподаватель кафедры радиотехники Муромского института Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Mikhail Smirnov – Senior Lecturer at the Department of Radio Engineering, Murom Institute, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

Лагунов Иван Романович – студент факультета информационных технологий и радиоэлектроники Муромского института Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Ivan Lagunov – Student at the Faculty of Information Technologies and Radioelectronics, Murom Institute, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

Ссылка для цитирования: *Храмов К.К., Смирнов М.С., Лагунов И.Р.* Расчет геометрических и временных параметров циклограммы радиолокатора космического базирования с синтезированием апертуры на основе активной фазированной антенной решетки // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 8 - 18. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-8-18.

For citation: *Khramov K.K., Smirnov M.S., Lagunov I.R.* Calculation of geometric and temporal parameters of the cyclogram of a space-based radar with aperture synthesis based on an active phased array antenna // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 8 - 18. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-8-18.

ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И НЕСТАНДАРТНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА И ГОЛОСОВОГО ПОМОЩНИКА

А.С. Кривец, И.А. Дудников, С.И. Штеренберг
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург
193232, Россия, г. Санкт-Петербург, пр-т Большевиков, 22, корп. 1, лит. А
krivets_2002@mail.ru

Аннотация. В настоящее время развитие киберфизических систем позволяет каждому иметь у себя дома голосового помощника высокого уровня. Существующие экосистемы умных домов повышают уровень качества жизни, обеспечивают удобное и эффективное управление домом, постоянно развиваясь и делая нашу повседневную жизнь все более футуристичной. Однако существующие решения, доступные на рынке, созданы для широкой аудитории и не всегда могут удовлетворить индивидуальные потребности пользователей. Когда требуется добавить нестандартную автоматизацию и решения, пользователь сталкивается с ограничениями программного обеспечения производителя, которое не всегда поддерживает такие функции. В статье рассматриваются способы и процесс расширения функционала голосового помощника в умном доме, а также делаются выводы о практичности применения подобных методов.

Ключевые слова: голосовой помощник, нейронные сети, умный дом, чат-бот, WebHook.

Abstract. Currently, the development of cyber-physical systems allows everyone to have a high-level voice assistant in their home. Existing smart home ecosystems improve the quality of life, provide convenient and efficient home management, constantly evolving and making our daily lives more and more futuristic. However, existing solutions available on the market are designed for a wide audience and cannot always meet the individual needs of users. When it is necessary to add non-standard automation and solutions, the user is faced with the limitations of the manufacturer's software, which does not always support such functions. The article discusses the methods and process of expanding the functionality of a voice assistant in a smart home, and also draws conclusions about the practicality of using such methods.

Key words: voice assistant, neural networks, smart home, chatbot, WebHook.

Введение

Целью проекта является расширение функционала уже существующего на рынке голосового помощника умного дома и, в частности, поиск способа, который позволит сэкономить ресурсы на разработку базы и сфокусироваться на создании пользовательских автоматизаций.

Перед началом работы был определен список следующих нестандартных задач, которые должен уметь выполнять голосовой помощник умного дома:

- самостоятельно узнавать расписание учебных занятий студента (школьника);

- составлять план на день и иметь функционал для его редактирования;

- отправлять запросы по *API* различным нейронным сетям и получать от них ответы;

- предоставлять полученную информацию в различных форматах;

- направлять получаемую информацию туда, куда попросит пользователь.

Методы и материалы исследования

Самой доступной в России в плане наличия оборудования, обратной связи от производителя и существующих моделей взаимодействия является экосистема «Умный дом Яндекс». Это означает, что пользователи мо-

гут легко найти необходимое оборудование для создания умной системы дома, а также получить поддержку от производителя.

Кроме того, у Яндекса есть доступное API для разработки навыков для своего голосового помощника «Алиса» – навыки для «Алисы». Таким образом разработчики могут создавать умные устройства и приложения, которые будут взаимодействовать с помощью голосовых команд и управления от «Алисы». Такой подход делает использование умного дома более удобным и интуитивно понятным для пользователей.

Благодаря доступности оборудования и гибкости разработки на «Умном доме Яндекса» пользователи имеют возможность настроить свою умную систему дома в соответствии с индивидуальными потребностями [1, 2]. Они могут выбрать модель взаимодействия из множества предлагаемых Яндексом и интегрировать их в свою систему. Благодаря существующей инфраструктуре и популярности экосистемы «Умный дом Яндекса» в России пользователи имеют возможность получить помощь и поддержку от сообщества и других пользователей. Это создает еще больше удобств и придает пользователю уверенности в использовании умного дома и его компонентов. В целом, экосистема «Умный дом Яндекса» является отличным выбором для российских пользователей. Благодаря доступности оборудования, API для разработки навыков и существующим моделям взаимодействия, она обеспечивает удобство, настраиваемость и поддержку, необходимые для успешного использования умного дома.

Навыки для «Алисы» – это специальные программы, которые созданы для расширения возможностей голосового помощника [3]. Они позволяют «Алисе» выполнять различные задачи, такие как поиск информации, управление устройствами, напоминание о важных событиях и многое другое. Навыки могут быть созданы как компаниями, так и обычными пользователями и позволяют создать программу, к которой будет обращаться «Алиса» и инициировать различные сценарии автоматизации.

Для создания взаимодействия пользова-

тельских автоматизаций и «Алисы» через навыки нужно выполнить следующие действия:

1. Создать на сервисе «Яндекс Диалоги» новый диалог.

2. Заполнить основные настройки и выбрать место, в котором будет размещен *Backend* навыка. Здесь есть выбор: разместить код в Яндекс Облаке, либо использовать сторонний сервис, поддерживающий *WebHook*.

3. Протестировать работу навыка и удостовериться, что *Backend* взаимодействует с созданным навыком.

Чтобы создать *Backend* проекта были использованы различные сервисы, упрощающие работу и не требующие глубокого погружения в программирование. Это было мотивировано тем, чтобы найти решения с широкой доступностью и показать, что для создания подобного проекта не требуются большие временные затраты и профильные знания.

Чтобы развернуть *Backend* был выбран сервис *AimyLogic* (рисунок 1). Этот сервис позволяет создавать различные чат-боты [4]. В созданной модели взаимодействия он принимает фразы, сказанные пользователем навыку «Алисы», и далее запускает один из сценариев автоматизации.

Следующий шаг – работа с конструктором ботов и написание кода, который используется совместно с конструктором. В конструкторе был создан простой сценарий для определения запроса пользователя. После определения запроса бот обращается к гугл-таблице, берёт из неё запрошенную информацию и выдает навыку «Алисы», а та, в свою очередь, – пользователю (рисунок 2).

Гугл-таблицы имеют функционал, позволяющий интегрировать в них программный код, а также готовые функции для решения многих задач, что даёт возможность взаимодействовать с различными ресурсами. Готовые функции подходят для решения задач по составлению ежедневного плана и расписания занятий, позволяют хранить и структурировать данные. Гугл-таблицы находятся также в доступе с любого устройства пользователя.

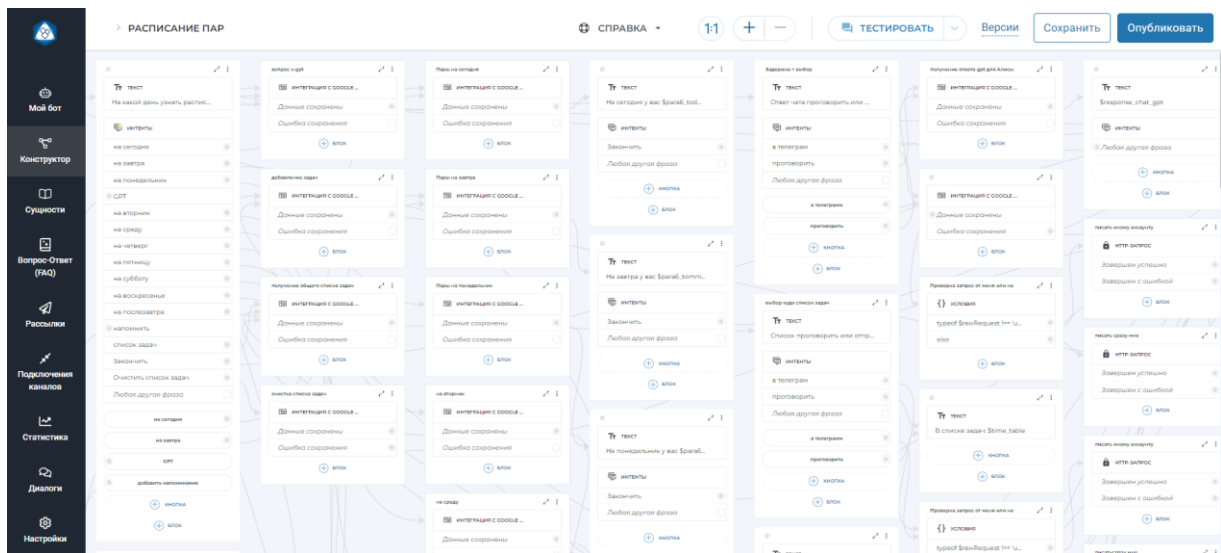


Рисунок 1 – Окно сервиса AimuLogic с созданным чат-ботом

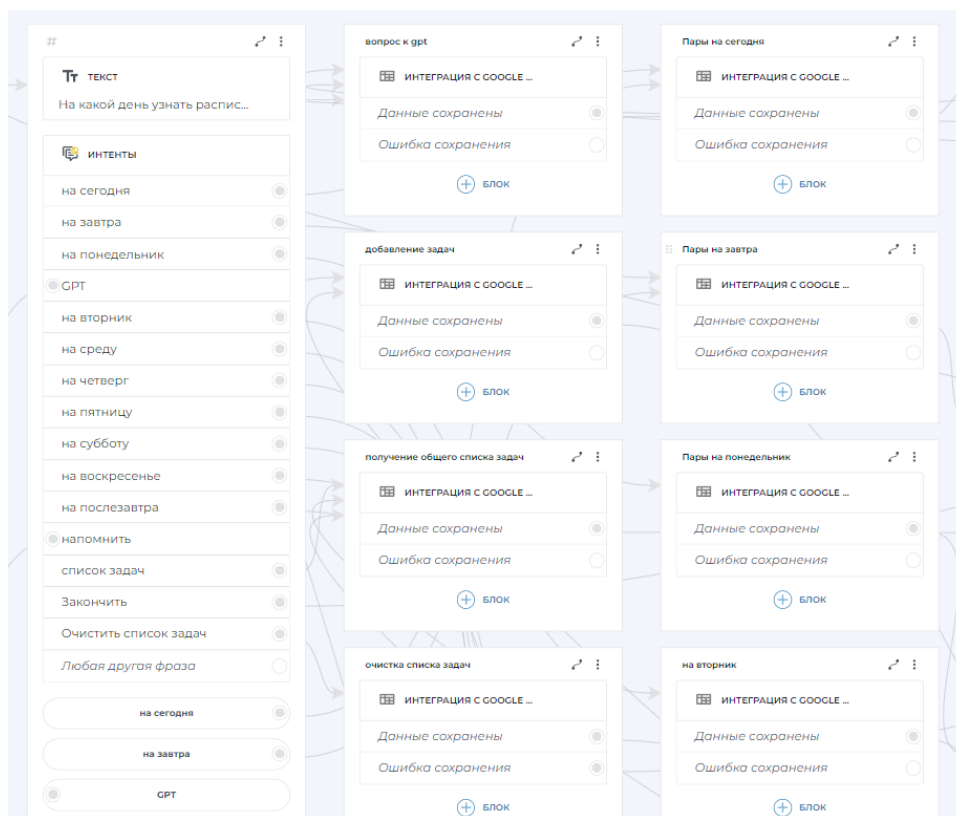


Рисунок 2 – Пример ожидаемых интенгов от пользователя и запуск дальнейших автоматизаций в зависимости от полученной контрольной фразы

Функционал составления плана на день по большей части был реализован в Aimu Logic. Чат-бот получает и обрабатывает запрос пользователя, выясняет, нужно ли ему что-то добавить в список или что-то из него уже неактуально. Также сортирует запросы

либо полностью очищает список, когда все дела из него выполнены. А так как бот может работать с гугл-таблицами, то он просто записывает полученные данные, либо удаляет при необходимости. При такой схеме со стороны гугл-таблиц никаких действий не

требуется, они выступают только в роли базы данных.

Для получения гугл-таблицей необходимых данных и внесения их в определенные ячейки таблицы можно использовать сервис *Apps Script*. Это универсальный метод, который позволяет получить расписание практически с сайта любого университета. Если информация на сайте университета размещена в удобном для гугл-таблиц виде (в формате *xml*), то можно использовать встроенную в саму гугл-таблицу функцию = *IMPORTXML*(). Этим можно пренебречь и внести расписание

`=IMPORTXML(N1; ";//div[@class='vt244']")`

После получение актуальной информации о расписании, ее необходимо структурировать и привести к виду, удобному для чтения самим голосовым помощником. При необходимости можно изменить названия предметов на более удобные для восприятия на слух, добавить сокращения, добавить время начала занятия в озвучиваемую информацию. Таблица получает из данных формата *xml* нужные поля, а далее различными манипуляциями сопоставляется с подходящими по звучанию и более короткими фразами. Здесь же формируются ответы на запросы не только на следующий день, а отдельно по каждому дню недели. В случае если занятий в определенный день не замечено, гугл-таблица сама вписывает строчку о том, что занятий нет. В таблице можно редактировать произносимые названия предметов как по фонетическому звучанию и склонениям, так и называть предметы часто используемыми сокращениями.

в таблицу вручную, что упростит задачу. Для отслеживания изменений в расписании написан парсер, который самостоятельно будет получать данные с сайта университета [5].

Парсер был реализован с помощью встроенной функции *IMPORTXML*(). Для ее корректной работы необходимо было внести такие параметры, как ссылка на сайт с расписанием и запрос *XPath* для поиска данных. Чтобы найти *XPath*, необходимо перейти на сайт с расписанием, открыть код элемента и найти там поля, содержащие данные о расписании:

Была сформирована функция, которая должна следить за тем, чтобы расписание было актуальным, сообщать об изменениях и перемещать данные из ячейки в ячейку при необходимости.

Для внедрения нейросетей было найдено довольно простое решение – добавление в гугл-таблицу такого расширения как *SheetGPT*. Оно позволяет отправлять запросы в чат *GPT* через функцию гугл-таблицы и туда же получать ответ (рисунок 3). После установки расширения в таблице достаточно прописать функцию = *GPT*(A1), где A1 – это ячейка с заданным промптом, который вписывает туда вышеописанный конструктор ботов *AimyLogic*, а далее он же считывает ответ нейросети. Эта функция также позволяет производить более тонкую настройку запроса, выбор модели *GPT* и дополнительных значений, что приводит к более качественному и ожидаемому ответу.

C1	A	B	C	D
		Запрос	<p>Основные аспекты безопасности в ролевой</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ролевая мандатная модель разграничения: <ul style="list-style-type: none"> - Определение ролей и их привилегий: ад - Определение мандатов: система также оп - Проверка подлинности и авторизация: п 2. Ролевая модель разграничения прав дос <ul style="list-style-type: none"> - Определение ролей и привилегий: систе - Проверка подлинности и авторизация: п 3. Дискретизионная модель разграничения <ul style="list-style-type: none"> - Классификация объектов: система класси - Определение прав доступа: система опре - Проверка прав доступа: перед предостав <p>Каждая из этих моделей имеет свои особен</p>	

Рисунок 3 – Пример работы функции =GPT()

Для подключения других нейросетей можно находить расширения и дополнения (длительный, но достаточно простой вариант), либо можно использовать специализированный блок в самом конструкторе ботов, который позволяет посылать *HTTP*-запросы [6]. Таким

образом, можно посылать *HTTP*-запрос по *API* к стороннему сервису, он его будет обрабатывать без посредников и высылать ответ на указанную площадку (рисунок 4). Для реализации такого способа потребуются знания языков программирования на базовом уровне.

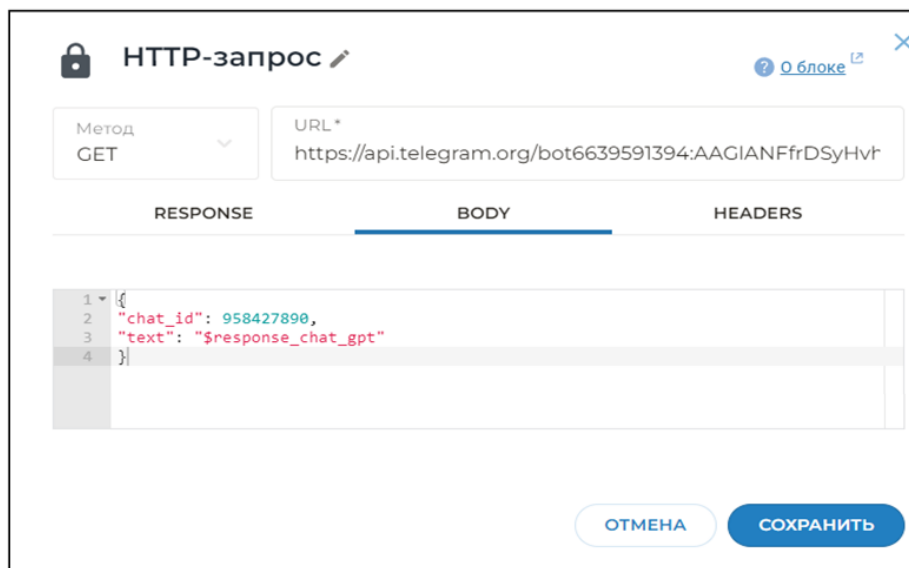


Рисунок 4 – Пример работающего блока *HTTP*-запрос

Функционал отправки имеющихся данных на другие устройства пользователя был реализован полностью в *AimyLogic*. В этом сервисе есть блоки, которые могут отправлять информацию пользователю по *sms* или *email*, либо можно использовать описанный выше

блок *HTTP*-запроса. Но также есть более простой вариант – это подключение каналов (рисунок 5). После подключения весь функционал будет доступен не только через голосового помощника, но и с сервиса и через других голосовых помощников.

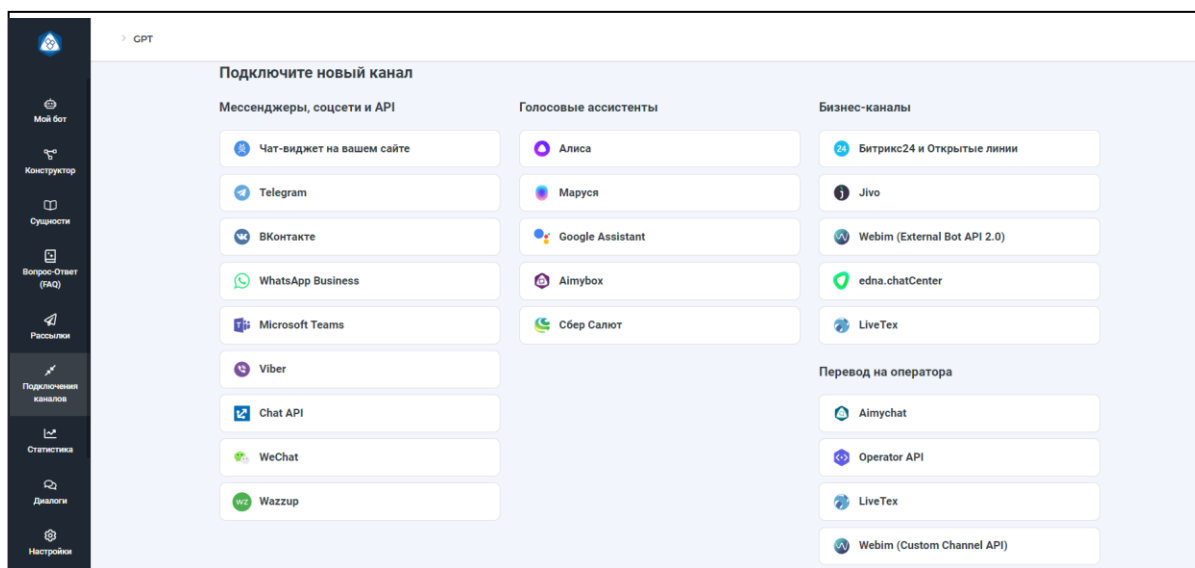


Рисунок 5 – Каналы, к которым есть возможность подключить конструктор *AimyLogic*

Это даёт возможность составлять, редактировать план на день, обращаться к нейронным сетям, запрашивать расписание и производить остальные всевозможные действия через различные мессенджеры, получать информацию в удобном виде на любой из них.

Подключение к модели расширения функционала такого мессенджера, как *Telegram*, раскрывает массу возможностей. В *Telegram* довольно просто создавать чат-боты и интегрировать в них совершенно различный программный код. Различные связки *AimyLogic*, *Telegram* и нейронных сетей позволяют осуществлять нестандартную автоматизацию и реализовать в умном доме следующие проекты: управление манипулятором через голосового помощника; умная

система полива растений; генерация и редактирование изображений нейросетями, используя лишь голос; создание комфортной среды для инвалидов; дрессировка домашних животных без участия человека и т.д.

Результаты и выводы

Итогом работы стала работоспособная модель расширения функционала голосового помощника в умном доме (рисунок 6), а также полностью рабочий пользовательский навык для «Алисы», который способен выполнять поставленные перед ним задачи. Этот навык может использоваться только теми, кому выдан доступ. В процессе создания были найдены неочевидные решения и созданы шаблоны, упрощающие создание подобных навыков.

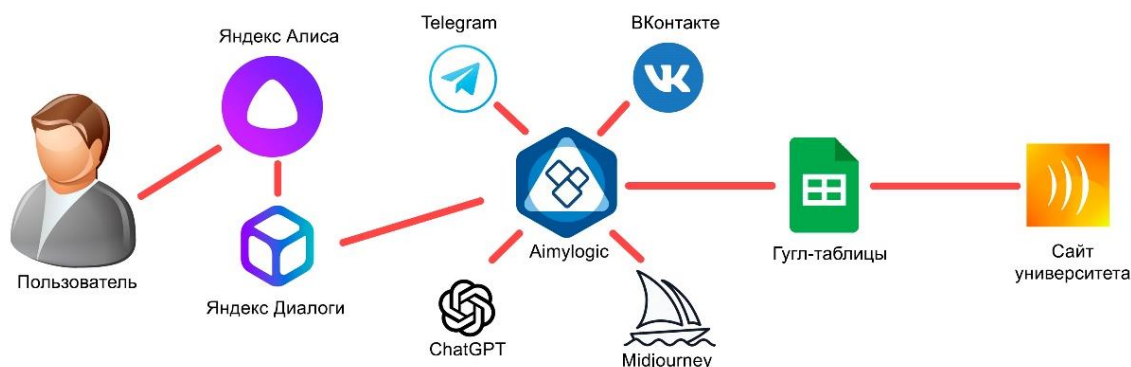


Рисунок 6 – Модель расширения функционала голосового помощника

Разработанная модель расширения функционала позволяет сделать настройку голосового помощника более гибкой, что даёт возможность интегрировать в него нестандартные решения по автоматизации и работу с нейросетями. Преимущество такой модели взаимодействия в том, что потраченные на её разработку ресурсы будуткратно меньше, чем

на разработку подобного голосового помощника самостоятельно и с нуля.

Создание подобной модели взаимодействия между различными сервисами возможно и без навыков программирования, но наличие базовых знаний позволяет создать более практичный и интересный проект.

Библиографический список

1. Волгогонов В.Н., Казанцев А.А., Кривец А.С. Создание системы охранной сигнализации на базе IoT-устройств в среде умного дома Яндекс // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.И. Макаренко. СПб. : СПбГУТ, 2023. Т. 1. С. 285–289.
2. Кривец А. С., Киричек Р. В. Программирование киберфизических систем с использованием визуального программирования в приложении FLProg // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 531–534.
3. О навыках Алисы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yandex.ru/dev/dialogs/alice/doc/index.html> (дата обращения: 27.09.2023).
4. Джанарсанам С. Разработка чат-ботов и разговорных интерфейсов. М.: ДМК, 2019. 342 с.

5. Кульгин М.В. Руководство по парсингу веб-сайтов в 2021 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/239915-rukovodstvo-po-parsingu-veb-saytov-v-2021-godu> (дата обращения: 27.09.2023).

6. Казанцев Т.С. Chat GPT и Революция Искусственного Интеллекта. М.: ЛитРес, 2022. 135 с.

Referenses

1. Volkogonov V.N., Kazancev A.A., Krivec A.S. Sozdanie sistemy ohrannoj signalizacii na baze lot-ustrojstv v srede umnogo doma YAndeks // Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii. XII mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferenciya; sb. nauch. st. v 4 t. / Pod. red. S.I. Makarenko. SPb. : SPbGUT, 2023. T. 1. S. 285–289.

2. Krivec A. S., Kirichek R. V. Programmirovaniye kiberfizicheskikh sistem s ispol'zovaniem vizual'nogo programmirovaniya v prilozhenii FLProg // Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii. XI mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferenciya; sb. nauch. st. v 4-h t. SPb. : SPbGUT, 2022. T. 1. S. 531–534.

3. O navykah Alisy [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://yandex.ru/dev/dialogs/alice/doc/index.html> (data obrashcheniya: 27.09.2023).

4. Dzhanarsanam S. Razrabotka chat-botov i razgovornyh interfejsov. M.: DMK, 2019. 342 s.

5. Kul'gin M.V. Rukovodstvo po parsingu veb-sajtov v 2021 godu [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://vc.ru/marketing/239915-rukovodstvo-po-parsingu-veb-saytov-v-2021-godu> (data obrashcheniya: 27.09.2023).

6. Kazancev T.S. Chat GPT i Revolyuciya Iskusstvennogo Intellekta. M.: LitRes, 2022. 135 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 30.11.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 24.12.2023

Принята к публикации / Accepted 09.01.2024

© А.С. Кривец, И.А. Дудников, С.И. Штеренберг, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Кривец Андрей Сергеевич – студент факультета инфокоммуникационных сетей и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

Andrey Krivets – Student of the Faculty of Infocommunication Networks and Systems, Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications.

Дудников Иван Алексеевич – студент факультета инфокоммуникационных сетей и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

Ivan Dudnikov – Student of the Faculty of Infocommunication Networks and Systems, Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications.

Штеренберг Станислав Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Stanislav Shterenberg – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Secure Communication Systems, Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications.

Ссылка для цитирования: *Кривец А.С., Дудников И.А., Штеренберг С.И.* Внедрение нейронных сетей и нестандартная автоматизация экосистемы умного дома и голосового помощника // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 19 - 25. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-19-25.

For citation: *Krivets A.S., Dudnikov I.A., Shterenberg S.I.* Implementation of neural networks and non-standard automation of the smart home and voice assistant ecosystem // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 19 - 25. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-19-25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГРАНУЛИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И АЛЮМИНИДОВ НИКЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОТВОДА И УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

К.А. Бобылева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва
125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4
bobileva_msk@bk.ru

Аннотация. Проведен комплекс исследований по определению оптимальных технологических режимов и параметров процессов гранулирования алюминиевых и алюминийсодержащих сплавов для изготовления ответственных изделий авиационного назначения методами металлургии гранул. Проведены исследования по определению наиболее эффективных технологий гранулирования, обеспечивающих увеличение скоростей охлаждения гранул и скоростей кристаллизации. Разработаны рекомендации по выбору и разработке оптимальных технологических процессов для получения качественного гранулята при минимальных финансовых вложениях.

Ключевые слова: дендритный параметр, дефект формы, диаметр гранулы, дисперсность структуры, интенсивность теплоотвода, металлургия гранул, скорость кристаллизации, сферичность гранулы.

Abstract. A set of studies was carried out to determine the optimal technological modes and parameters of granulation processes of aluminum and aluminum-containing alloys for the manufacture of critical aircraft products using granule metallurgy methods. Research has been carried out to determine the most effective granulation technologies that provide an increase in granule cooling rates and crystallization rates. Recommendations have been developed for the selection and development of optimal technological processes for obtaining high-quality granulates with minimal financial investments.

Key words: dendritic parameter, shape defect, granule diameter, structure dispersion, heat removal intensity, granule metallurgy, crystallization rate, granule sphericity.

Введение

В течение последних 10-15 лет в Российской Федерации и в других индустриально развитых странах (КНР, США, Германия и т.д.) активно развиваются промышленные технологии изготовления ответственных деталей методами металлургии гранул. Это обусловлено следующими тремя причинами:

1. Технология повышения прочностных и эксплуатационных характеристик конструкционных сплавов методом легирования в насто-

ящее время практически исчерпала себя. В то же время конструкторы постоянно требуют все более высоких характеристик металлических материалов. Наиболее ярко это проявляется в современном авиационном и производстве космической техники. Конструкторам требуются максимальные прочностные характеристики материала деталей при его минимальной плотности. Только таким образом они могут уменьшить вес самого летательного аппарата и тем самым увеличить долю его полезной

нагрузки. Снижение веса планера самолета или корпуса космического аппарата позволяет увеличить эффективную несущую нагрузку, что крайне важно для современных летательных аппаратов.

2. Активное развитие аддитивных технологий при производстве изделий из металлических материалов для авиационной и космической техники также требует сырье в виде проволоки, порошков или гранул.

3. Произошедшее за последние годы резкое увеличение стоимости металлических материалов на мировых рынках требует замены дорогостоящих, в том числе, высоколегированных сплавов на менее дорогие. Известно, что величина расходов на основные материалы при изготовлении деталей машиностроения и авиастроения технологическими процессами металлургии (литейное производство, обработка металлов давлением) составляет 70-85% от полной себестоимости рассматриваемого изделия. Применение менее дорогих материалов при сохранении заданных прочностных и эксплуатационных свойств позволяет снизить себестоимость продукции. К этой причине можно отнести и необходимость ис-

пользования малоотходных или даже безотходных производств.

Таким образом, на современном этапе развития металлургии значительное увеличение прочностных характеристик сплавов возможно, в основном, только методами порошковой металлургии или металлургии гранул [1, 2]. Причем практически для всех групп металлических материалов характерна фундаментальная зависимость – чем выше скорость охлаждения и, следовательно, скорость кристаллизации гранул, тем меньше дисперсность структуры материала, выше степень пресыщения твердого раствора легирующими элементами, выше прочностные и эксплуатационные свойства материала гранул [3, 4].

Исследование состояния вопроса

Существует большое количество различных методов гранулирования металлических материалов. На рисунке 1 представлена разработанная классификация основных методов гранулирования металлов и сплавов. Все методы получения гранул можно объединить в четыре большие группы, которые приведены на рисунке 1.

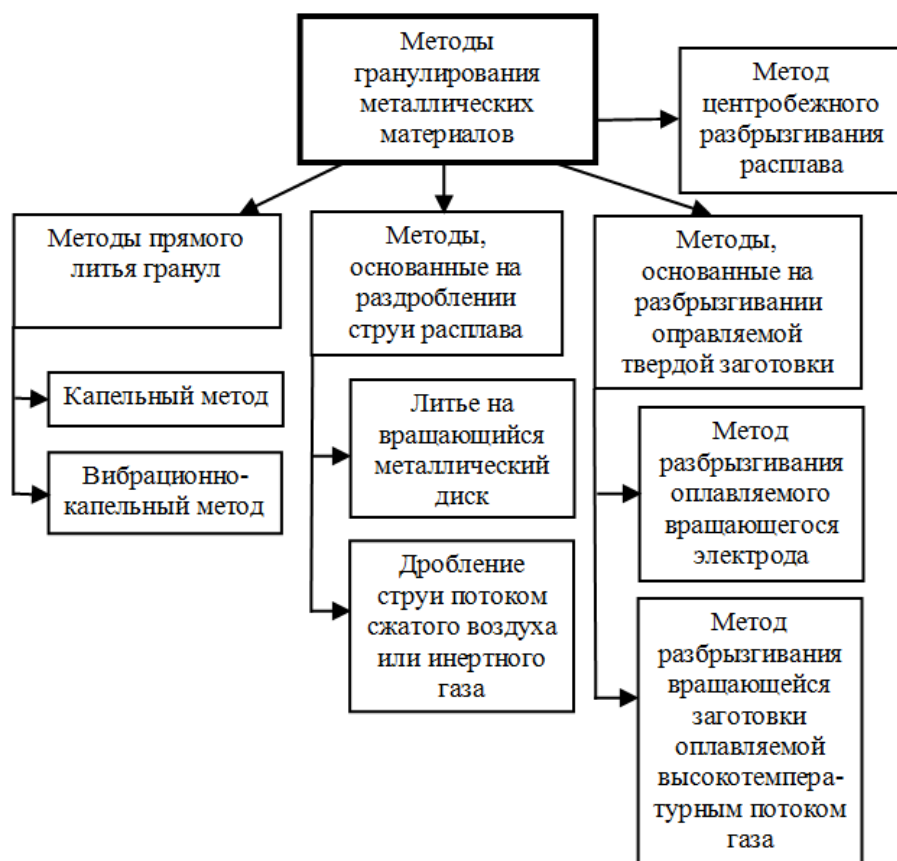


Рисунок 1 – Классификация основных методов гранулирования металлических материалов

Однако, наибольший интерес для исследований представляют методы наиболее широко применяемые в промышленности. В основном гранулы алюминиевых сплавов в Российской Федерации получают капельным методом или методом центробежного разбрызгивания расплава [5]. В зарубежной практике гранулы таких материалов получают методом распыления струи расплава потоком высокотемпературного инертного газа (методами газовой атомизации) или капельным методом [6].

Для получения гранул жаропрочных никелевых и титановых сплавов, а также гранул алюминидов никеля $NiAl$ и Ni_3Al в подавляющем большинстве случаев используются методы разбрызгивания оплавленного вращающегося электрода (метод *PREP*) [7] или методы газовой атомизации потоком высокотемпературного инертного газа (аргона) [8].

Это, в частности, обусловлено необходимостью создания инертной атмосферы, обеспечить которую при реализации метода центробежного разбрызгивания расплава из вращающегося перфорированного тигля крайне сложно.

Известно, что чем меньше диаметр гранулы или сферической частицы порошка, тем выше скорость ее кристаллизации – это обусловлено меньшим объемом расплава и большей относительной площадью контакта гранулы с охлаждающей средой. Однако значительное снижение размеров частиц порошка до уровня 0,05 мм и менее ведет к определенным проблемам при их последующем компактировании и спекании. Поэтому крайне важно уметь разрабатывать такие технологические процессы гранулирования, которые обеспечивают получение размеров отдельных частиц заданных металлургией гранул, получения гранул преимущественно сферической формы без внутренних и внешних дефектов [9, 10].

Существующие промышленные способы изготовления гранул были исследованы на предмет возможности увеличения интенсивности теплоотвода, увеличения скоростей охлаждения и, следовательно, скоростей кристаллизации. На рисунке 2 представлена классификация основных возможных способов увеличения скоростей кристаллизации.

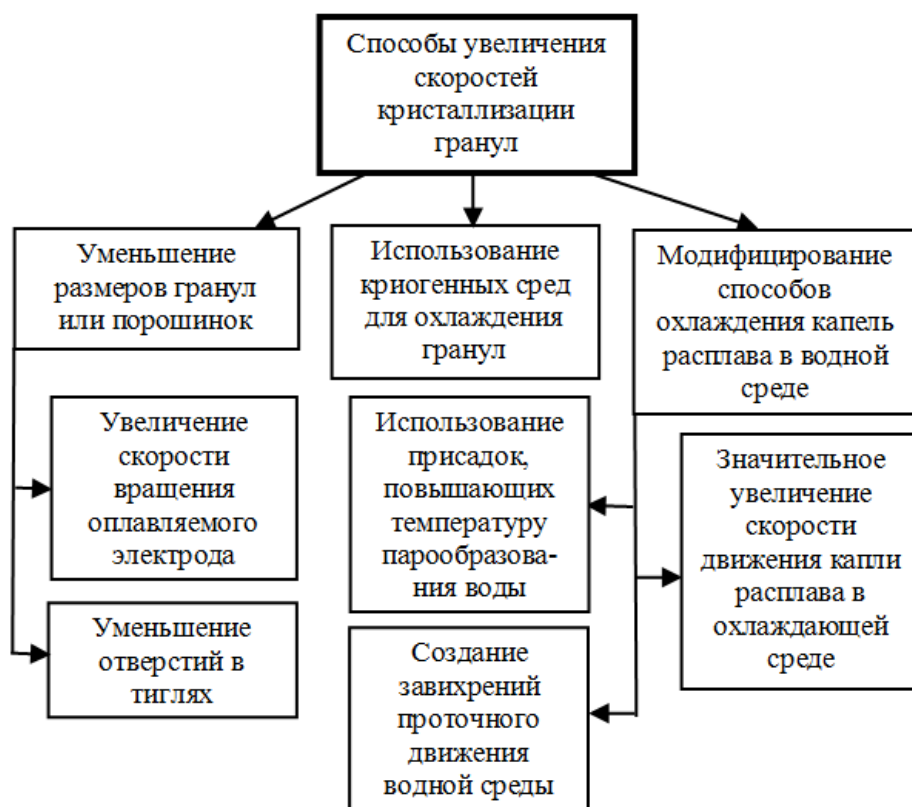


Рисунок 2 – Классификация возможных способов увеличения скоростей охлаждения и скоростей кристаллизации капель расплава

Понятно, что наиболее эффективным и, в тоже время, наиболее простым способом увеличения скоростей охлаждения и кристаллизации гранул является уменьшение их размеров. При этом уменьшаются линейные размеры гранул, вдоль которых направлен градиент охлаждения, уменьшается общий объем накопленного тепла капли расплава [11, 12, 13].


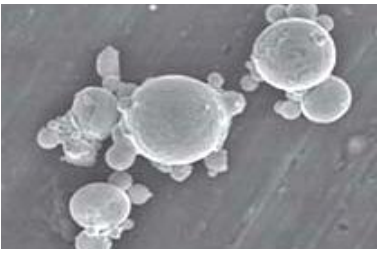
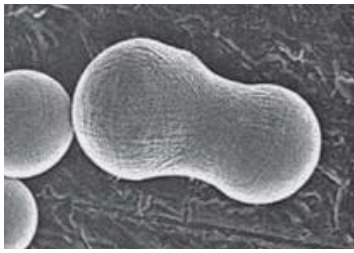
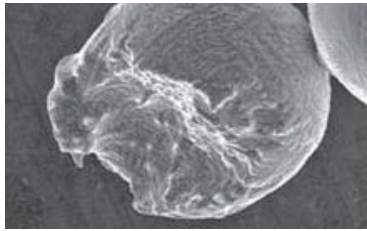

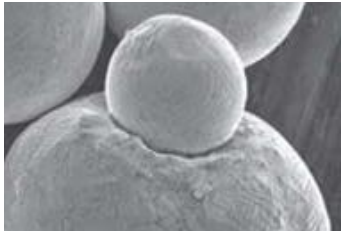
Однако значительное снижение размеров гранул до уровня частиц порошка (порошинок) с 1,0-4,0 мм до 10,0-50,0 мкм влечет за собой и определенные трудности их последующей переработки (консолидации).

При анализе промышленно используемых способов получения гранул алюминиевых сплавов капельным методом, методом центрифугирования расплава и методом газовой атомизации было установлено, что наиболее эффективным методом с точки зрения умень-

шения размеров гранул является метод газовой атомизации. Однако данный метод редко применяется в нашей стране для гранулирования алюминиевых сплавов, так как имеет ряд существенных недостатков.

В первую очередь необходимо отметить, что размер и форма гранул в данном методе никак не контролируются – струя расплава хаотично дробится сжатым воздухом или потоком высокотемпературного инертного газа [12]. Во-вторых, гранулы, получаемые методом газовой атомизации, характеризуются большим количеством различных дефектов формы. В таблице указаны основные виды дефектов, образующихся в гранулах при их хаотичном движении в пространстве. Доля несферических гранул и гранул с дефектами формы может составлять до 50% от общей массы получаемого гранулята [11].

Таблица – Основные дефекты гранул, наиболее часто возникающие при гранулировании методом газовой атомизации и методом PREP [14]

Внутренняя пористость гранулы	Сателлиты на поверхности гранулы	Сдвоенная гранула
		
Полуразрушенная гранула	Сложный конгломерат из двух или более гранул в результате вытекания содержимого гранулы	Внедрение одной гранулы в другую в результате удара в полужидком состоянии
		

Несферическая форма гранул и большое количество дефектов формы крайне отрицательно сказываются на сыпучести порошка и

создают сложности при заполнении форм для последующего спекания или других видов консолидации гранул. В этом случае не только

увеличивается время заполнения форм, но и, что самое главное, засыпанная масса порошинок характеризуется низкой плотностью засыпки.

Размеры гранул, получаемых при газовой атомизации, характеризуются крайне большим разбросом размеров. Это, в свою очередь, определяет различные скорости кристаллизации и, следовательно, различные степени дисперсности микроструктуры гранул, различные уровни пересыщенности твердого раствора и различные свойства материала различных гранул. В итоге, это различие сказывается на качестве материала получаемых компактных полуфабрикатов [15, 16].

Таким образом, при выборе метода производства гранул необходимо стремиться к однородности дисперсности микроструктуры получаемых гранул, примерно одинаковому размеру гранул, высокому уровню их сферичности. Кроме того, понятно, что наиболее действенным способом отвода тепла охлаждаемой капли расплава является использование водной среды, которая характеризуется гораздо большим коэффициентом теплопроводности по сравнению с воздушной или паровой средой.

Существуют различные математические модели, позволяющие прогнозировать интенсивность теплоотвода от кристаллизующейся капли в одной среде [17, 18, 19]. Однако наиболее эффективным способом оценки скорости кристаллизации является величина дендритного параметра (линейный размер между осями дендритов второго порядка) микроструктуры гранул.

Кроме того, известно, что сами по себе частицы металлического порошка или гранулы являются промежуточным сырьем для получения компактных изделий. Поэтому важно иметь также прогрессивные технологии консолидации порошинок или гранул в готовое изделие с сохранением уникальных свойств материала, полученных при высоких скоростях кристаллизации.

На основании этого можно выделить две основные задачи всего комплекса проводимых исследований:

1. Определение наиболее эффективных с точки зрения увеличенных скоростей кристал-

лизации методов гранулирования алюминиевых сплавов.

2. Определение оптимальных режимов последующей консолидации гранул с целью сохранения дисперсности микроструктуры и сохранения уникальных механических свойств структуры гранулированного материала.

Экспериментальная часть

В рамках выполняемого комплекса исследований проводились работы по гранулированию различных марок алюминиевых сплавов (Д1, Д16, АМг5, АМг6, В95, В96Ц) по технологии гранулирования центрифугированием расплава по методике, изложенной в [20]. Химический состав марок исследуемых алюминиевых сплавов соответствовал требованиям ГОСТ [21, 22]. Скорость кристаллизации полученных гранул проводилась классическим методом оценки дендритного параметра структуры зерна, имеющим высокий уровень доказанности в металлургии гранул [23, 24].

Получение гранул алюминидов никеля ($NiAl$, Ni_3Al) методом *PREP* и методом газовой атомизации и по методикам, изложенным в [25, 26, 27]. Полученные гранулы компактировались в брикеты. Брикеты подвергались газостатическому изотермическому прессованию (для гранул алюминидов никеля ($NiAl$, Ni_3Al)) или прессованию (для гранул алюминиевых сплавов). При горячем прессовании прутков из брикетов гранул алюминиевых сплавов диаметр исходного брикета составлял 146 мм, диаметр прутка 23 мм. Коэффициенты вытяжки при прессовании составляли порядка $\lambda \approx 40-42$. Из компактных изделий вырезались образцы. Проводились исследования микроструктуры компактного материала и испытания с целью определения механических свойств материала образцов (испытания на растяжение, сжатие, проводилось определение микротвердости).

Обсуждение полученных результатов

В результате проведенного комплекса исследований установлено, что такие способы повышения скоростей кристаллизации гранул алюминиевых сплавов Д1, Д16, АМг5, АМг6, В95, В96Ц, как применение вихревых водяных потоков или использование присадок, повы-

шающих температуру образования пара (например, NaCl) незначительно влияют на повышение скоростей кристаллизации.

Определено, что из всех методов повышения скоростей кристаллизации гранул всех вышеперечисленных алюминиевых сплавов, наиболее действенным и эффективным является повышение скорости вращения перфорированного тигля при центрифугировании расплава. Определено, что для получения гранул алюминиевых сплавов целесообразно использовать скорости вращения перфорированного тигля выше 4500-5000 об/мин, которые за счет высокой поступательной скорости капли расплава и сбива паровой оболочки, возникающей вокруг кристаллизуемой капли диаметром 1,0-3,0 мм, обеспечивают получение микроstructures гранул по величине дисперсности аналогичной, возникающей при кристаллизации в водной среде порошков 5,0-10,0 мкм.

На рисунке 3 представлена экспериментально полученная зависимость дендритного параметра микроstructures гранул сплавов В95 и В96Ц диаметром 1,0 мм в зависимости от скоростей вращения перфорированного тигля с расплавом. Видно, что при скоростях вращения центрифугируемого расплава выше 4500 об/мин наблюдается резкое уменьшение дендритного параметра микроstructures гранул, что однозначно характеризует резкое повышение скоростей кристаллизации [4, 23].

Этот резкий перепад объясняется сбивом паровой оболочки, возникающей вокруг кристаллизуемой капли и обеспечением постоянного контакта кристаллизуемой капли расплава с водной охлаждающей средой [15, 20]. Аналогичные данные получены и по другим группам алюминиевых сплавов.



Рисунок 3 – Экспериментально полученная зависимость дендритного параметра микроstructures гранул сплавов В95 и В96Ц диаметром 1,0 мм в зависимости от скоростей вращения перфорированного тигля с расплавом

Дальнейшее получение компактных изделий и полуфабрикатов, проводимое обычным горячем прессованием по стандартным технологиям металлургии гранул, показало рост прочности полученных компактных материалов (предел прочности, условный предел текучести) на 17-23 % по сравнению с аналогичными материалами, получаемыми из гранул, изготовленных капельным методом.

При проведении теоретических исследований особенностей методов получения гранул алюминидов никеля было установлено,

что капельный метод или метод центрифугирования расплава для получения таких гранул не применяются, так как данные методы характеризуются слишком большим размером получаемых гранул и, самое главное, не дают возможности обеспечить инертную атмосферу при гранулировании. Наиболее эффективным методом получения гранул алюминидов никеля признается метод центробежного разбрызгивания оплавленного вращающегося электрода (метод PREP) [14, 28]. При этом возникает не проблема определения оптимального

размера гранул (они и так при гранулировании данным методом довольно маленькие и составляют 150-300 мкм), а проблема получения качественного сферического гранулята с минимальным количеством дефектов формы и примерно одинаковым размером частиц.

В процессе проведения экспериментальных исследований установлено, что для получения порошков алюминидов никеля методом *PREP* целесообразно применять скорости вращения оплаваемого электрода выше 15000-16000 об/мин. При этом наблюдается наибольший выход годных, а именно, сферических частиц порошка диаметром 150-300

мкм и минимальным количеством дефектов формы (80% от всей массы гранулята).

Заключение

В результате комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены технологические параметры различных процессов гранулирования (методом центрифугирования расплава для получения гранул алюминиевых сплавов и методом *PREP*, для получения гранул алюминидов никеля (*NiAl*, *Ni₃Al*)), которые обеспечивают получение качественного гранулята заданного размера с минимальным количеством дефектов и качественной сферической формой.

Библиографический список

1. Береснев А.Г., Логунов А.В., Логачева А.И. Проблемы повышения качества жаропрочных сплавов, получаемых методом металлургии гранул // Вестник МАИ. 2008. Т. 15. № 3. С. 83–89.
2. Белокопытов В.И. Разработка технологии штамповки поковок из предварительно скомпактированных гранул алюминиевых сплавов // Вестник Магнитогорского ГТУ им. Г. И. Носова. 2016. Т. 14. № 3. С. 25–31.
3. Angelo P.C., Subramanian R. Powder metallurgy: science, technology and applications. PHI Learning Pvt. Ltd. 2008. 312 p.
4. Телешов В.В. Фундаментальная закономерность изменения структуры при кристаллизации алюминиевых сплавов с разной скоростью охлаждения // Технология легких сплавов. 2015. № 2. С. 13-18.
5. Жаров М.В. Анализ особенностей процессов теплообмена при кристаллизации гранул алюминиевых сплавов в водной и водно-паровой среде // Материаловедение. 2023. № 8. С. 3-13.
6. Zeoli N., Sai gu, Kamnis S. Numerical modeling of metal droplet cooling and solidification // International journal of heat and mass transfer. 2008. No 51 (15-16). P. 4121-4131.
7. Жаров М.В. Сравнительный анализ особенностей технологий получения качественного сферического порошка алюминидов никеля *NiAl* // Металлург. 2022. № 11. С. 57–65.
8. Xu G.H., Zhang K.F., Huang Z.Q. The synthesis and characterization of ultrafine grain *NiAl* intermetallic // Advanced Powder Technology. 2012. Vol. 23. P. 66–371.
9. Рудской А.И., Волков К.Н., Кондратьев С.Ю., Старовойтенко Е.И., Зенина М.В., Казберович А.М. Физические аспекты получения металлических порошков для гранульных и аддитивных технологий // Технология легких сплавов. 2020. № 3. С. 4–10.
10. Жаров М.В. Исследование влияния увеличения интенсивности теплоотвода при кристаллизации гранул высокопрочных алюминиевых сплавов системы Al - Zn - Mg - Cu // Цветные металлы. 2022. № 3. С. 82-90.
11. Entezarian M., Allaire F., Tsantrizos P., Drew R.A. Plasma atomization: A new process for the production of fine spherical powders // The journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 1996. Vol. 48(6). P. 53–55.
12. Игнатов М.Н., Кулинский А.И., Щепин Л.А. Особенности динамики падения, охлаждения и кристаллизации сферической капли металла в газовой среде // Вестник Пермского государственного технического университета. Механика и технология материалов и конструкций. 2002. № 5. С. 65-70.
13. Ягодин М.Г. Исследование процесса и разработка технологии производства мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов для производства дисков газотурбинных двигателей // Диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук. М.: ВИЛС, 2020. 169 с.
14. Капуткин Е.Я., Бер Л.Б., Казберович А.М., Мухина Т.А. Морфология и размеры гранул жаропрочных никелевых сплавов, получаемых распылением расплава и методом *PREP* // Технология легких сплавов. 2021. № 4. С. 79–93.
15. Жаров М.В. Разработка технологии производства гранулированных материалов с ультрадисперсной структурой из высокопрочных алюминиевых сплавов // Вестник машиностроения. 2022. № 8. С. 49-55.
16. Bojarevics V., Roy A., Pericleous K. Numerical model of electrode induction melting for gas atomization // The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering. 2011. Vol. 30(5). P. 1455–1467.

17. Жаров М.В. Исследование закономерностей процесса охлаждения и кристаллизации капель расплава алюминиевых сплавов в водной среде // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 6 (382). С. 4-16.
18. Скуратов А.П., Пьяных А.А. Расчетное исследование скорости охлаждения капли алюминиевого расплава в водной среде // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2009. № 1. С. 233-235.
19. Скуратов А.П., Пьяных А.А. Теплообмен при гранулировании свинцовосодержащих алюминиевых сплавов в водной среде // Теплофизика и аэромеханика. 2012. Т. 19. № 2. С. 155-162.
20. Жаров М.В. Процессы получения гранулированных материалов из алюминиевых сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu по технологии сверхбыстрой кристаллизации гранул // Металлург. 2022. № 3. С. 39-49.
21. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. М.: ФГУП "СтандартИнформ", 2019. 35 с.
22. ОСТ 1.90048-90. Сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. Дата введения 1.02.1991. Утвержден и введен в действие распоряжением Министерства авиационной промышленности (МАП) от 26.11.1990 № 080/4. 6 с.
23. Добаткин В.И., Елагин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы. М.: Metallurgiya, 1981. 176 с.
24. Гарибов Г.С. Перспективы развития отечественных дисковых гранулируемых жаропрочных никелевых сплавов для новых образцов авиационной техники // Технология легких сплавов. 2017. № 1. С. 7–28.
25. Жаров М. В. Исследование особенностей технологий получения качественного гранулированного сырья алюминид никеля NiAl // Цветные металлы. 2022. № 11. С. 50-56.
26. Капланский Ю.Ю. Получение узкофракционных сферических порошков жаропрочных сплавов на основе алюминид никеля и их применение в технологии селективного лазерного сплавления // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М.: МиСИС, 2020. 252 с.
27. Xia Y., Khezzer L., Alshehhi M, Hardalupas Y. Droplet size and velocity characteristics of water-air impinging jet atomizer // International Journal of Multiphase Flow. 2017. Vol. 94. P. 31–43.
28. Сентюрина Ж.А. Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминид никеля NiAl для аддитивных технологий // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М.: МиСИС, 2016. 168 с.

Referenses

1. Beresnev A.G., Logunov A.V., Logacheva A.I. Problemy povysheniya kachestva zharoprochnykh spлавov, poluchaemykh metodom metallurgii granул // Vestnik MAI. 2008. Т. 15. № 3. С. 83–89.
2. Belokopytov V.I. Razrabotka tekhnologii shtampovki pokovok iz predvaritel'no skompaktirovan-nykh granул alyuminievykh spлавov // Vestnik Magnitogorskogo GTU im. G. I. Nosova. 2016. Т. 14. № 3. С. 25–31.
3. Angelo P.C., Subramanian R. Powder metallurgy: science, technology and applications. PHI Learning Pvt. Ltd. 2008. 312 p.
4. Teleshov V.V. Fundamental'naya zakonomernost' izmeneniya struktury pri kristallizatsii alyu-minievykh spлавov s raznoj skorost'yu ohlazhdeniya // Tekhnologiya legkikh spлавov. 2015. № 2. С. 13-18.
5. Zharov M.V. Analiz osobennostej processov teploobmena pri kristallizatsii granул alyuminievykh spлавov v vodnoj i vodno-parovoj srede // Materialovedenie. 2023. № 8. С. 3-13.
6. Zeoli N., Sai gu, Kamnis S. Numerical modeling of metal droplet cooling and solidification // International journal of heat and mass transfer. 2008. No 51 (15-16). P. 4121-4131.
7. Zharov M.V. Sravnitel'nyj analiz osobennostej tekhnologij polucheniya kachestvennogo sferichesko-go poroshka alyuminida nikelya NiAl // Metallurg. 2022. № 11. С. 57–65.
8. Xu G.H., Zhang K.F., Huang Z.Q. The synthesis and characterization of ultrafine grain NiAl intermetallic // Advanced Powder Technology. 2012. Vol. 23. R. 66–371.
9. Rudskoj A.I., Volkov K.N., Kondrat'ev S.Yu., Starovojtenko E.I., Zenina M.V., Kazberovich A.M. Fizicheskie aspekty polucheniya metallicheskih poroshkov dlya granул'nykh i additivnykh tekhnologij // Tekhnologiya legkikh spлавov. 2020. № 3. С. 4–10.
10. Zharov M.V. Issledovanie vliyaniya uvelicheniya intensivnosti teplootvoda pri kristallizatsii granул vysokoprochnykh alyuminievykh spлавov sistemy Al - Zn - Mg - Cu // Cvetnye metally. 2022. № 3. С. 82-90.
11. Entezarian M., Allaire F., Tsanzizos P., Drew R.A. Plasma atomization: A new process for the production of fine spherical powders // The journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 1996. Vol. 48(6). P. 53–55.
12. Ignatov M.N., Kulinskij A.I., Shchepin L.A. Osobennosti dinamiki padeniya, ohlazhdeniya i kristallizatsii sfericheskoj kapli metalla v gazovoj srede // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Mekhanika i tekhnologiya materialov i konstrukcij. 2002. № 5. С. 65-70.

13. Yagodin M.G. Issledovanie processa i razrabotka tekhnologii proizvodstva melkodispersnyh granul zharoprochnykh nikelevykh splavov dlya proizvodstva diskov gazoturbinykh dvigatelej // Disserta-ciya na soiskanie uchen. stepeni kand. tekhn. nauk. M.: VILS, 2020. 169 s.
14. Kaputkin E.Ya., Ber L.B., Kazberovich A.M., Muhina T.A. Morfologiya i razmery granul zharoprochnykh nikelevykh splavov, poluchaemykh raspysleniem rasplava i metodom PREP // Tekhnologiya legkikh splavov. 2021. № 4. С. 79–93.
15. Zharov M.V. Razrabotka tekhnologii proizvodstva granulirovannykh materialov s ul'tradispersnoy strukturoy iz vysokoprochnykh alyuminievykh splavov // Vestnik mashinostroeniya. 2022. № 8. S. 49-55.
16. Bojarevics V., Roy A., Pericleous K. Numerical model of electrode induction melting for gas atomization // The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering. 2011. Vol. 30(5). P. 1455–1467.
17. Zharov M.V. Issledovanie zakonomernostey processa ohlazhdeniya i kristallizatsii kapel' ras-plava alyuminievykh splavov v vodnoy srede // Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika. 2023. T. 64. № 6 (382). S. 4-16.
18. Skuratov A.P., P'yanyh A.A. Raschetnoe issledovanie skorosti ohlazhdeniya kapli alyuminievogo rasplava v vodnoy srede // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2009. № 1. S. 233-235.
19. Skuratov A.P., P'yanyh A.A. Teploobmen pri granulirovanii svincovosoderzhashchikh alyuminievykh splavov v vodnoy srede // Teplofizika i aeromekhanika. 2012. T. 19. № 2. S. 155-162.
20. Zharov M.V. Processy polucheniya granulirovannykh materialov iz alyuminievykh splavov sistemy Al-Zn-Mg-Cu po tekhnologii sverhbystroy kristallizatsii granul // Metallurg. 2022. № 3. S. 39-49.
21. GOST 4784-2019. Alyuminij i splavy alyuminievye deformiruemye. Marki. M.: FGUP "Stan-dartInform", 2019. 35 s.
22. OST 1.90048-90. Splavy alyuminievye deformiruemye. Marki. Data vvedeniya 1.02.1991. Utverzhen i vveden v dejstvie rasporyazheniem Ministerstva aviacionnoy promyshlennosti (MAP) ot 26.11.1990 № 080/4. 6 s.
23. Dobatkin V.I., Elagin V.I. Granuliruemye alyuminievye splavy. M.: Metallurgiya, 1981. 176 s.
24. Garibov G.S. Perspektivy razvitiya otechestvennykh diskovykh granuliruemykh zharoprochnykh nikelevykh splavov dlya novykh obrazcov aviacionnoy tekhniki // Tekhnologiya legkikh splavov. 2017. № 1. С. 7–28.
25. Zharov M. V. Issledovanie osobennostey tekhnologii polucheniya kachestvennogo granulirovannogo syr'ya alyuminida nikelya NiAl // Cvetnye metally. 2022. № 11. S. 50-56.
26. Kaplanskij Yu.Yu. Poluchenie uzkoфракционnykh sfericheskikh poroshkov zharoprochnykh splavov na osnove alyuminida nikelya i ih primenenie v tekhnologii selektivnogo lazernogo splavleniya // Disserta-ciya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. M.: MiSIS, 2020. 252 s.
27. Xia Y., Khezzer L., Alshehhi M, Hardalupas Y. Droplet size and velocity characteristics of water-air impinging jet atomizer // International Journal of Multiphase Flow. 2017. Vol. 94. P. 31–43.
28. Sentyurina Zh.A. Poluchenie sfericheskikh poroshkov iz splavov na osnove alyuminida nikelya NiAl dlya additivnykh tekhnologii // Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. M.: MiSIS, 2016. 168 s.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 11.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 18.01.2024

Принята к публикации / Accepted 03.02.2024

© К.А. Бобылева, 2024

Сведения об авторе

List of Author

Бобылева Карина Алексеевна — инженер кафедры прикладной механики Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Karina Bobyleva – Engineer of the Department of Applied Mechanics, Moscow Aviation Institute (National Research University).

Ссылка для цитирования: *Бобылева К.А.* Исследование технологий гранулирования алюминиевых сплавов и алюминидов никеля в условиях значительной интенсификации теплоотвода и увеличения скоростей кристаллизации // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 26 - 34. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-26-34.

For citation: *Bobyleva K.A.* Study of technologies for granulating aluminum alloys and nickel aluminides under conditions of significant intensification of heat removal and increasing crystallization rates // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 26 - 34. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-26-34.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФОАМИНОКИСЛОТЫ ТАУРИНА В ЖЕЛТКАХ ЯИЦ ПЕРЕПЕЛОВ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Н.А. Бачинская, Ю.С. Орлова, И.С. Нестеренко
Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств
для животных и кормов, Москва
123022, Россия, г. Москва, Звенигородское шоссе, 5
nadezdabachinska@mail.ru

Аннотация. Таурин является естественным продуктом обмена серосодержащих аминокислот: цистеина и метионина. Таурин – условно незаменимая сульфаминокислота, которая участвует во многих метаболических процессах. Для определения таурина была разработана методика на основе капиллярного электрофореза, которая является экспрессной и селективной. Время анализа – 15 минут. Результатами исследований установлено, что введение в рацион перепелов таурина в дозе 150 мг/кг и 500 мг/кг способствует увеличению данной аминокислоты в перепелиных яйцах соответственно на 18,2% и 77,3% по отношению к контрольной группе перепелов.

Ключевые слова: капиллярный электрофорез, показатель качества, рацион птицы, таурин, яйца перепелов.

Abstract. Taurine is a natural metabolic product of sulfur-containing amino acids: cysteine and methionine. Taurine is a conditionally essential sulfoamino acid that is involved in many metabolic processes. To determine taurine, a technique based on capillary electrophoresis was developed, which is rapid and selective. Analysis time – 15 minutes. The results of the research established that the introduction of taurine into the diet of quails at a dose of 150 mg/kg and 500 mg/kg contributes to an increase in this amino acid in quail eggs by 18.2% and 77.3%, respectively, in relation to the control group of quails.

Key words: capillary electrophoresis, quality indicator, poultry diet, ta-urine, quail eggs.

Введение

Одними из востребованных в настоящее время групп биологически активных веществ для поддержания физиологической полноценности птицы являются ферменты, пробиотики, пребиотики, витамины, микроэлементы и аминокислоты.

Таурин (2-аминоэтансульфоновая кислота) – свободная, полунезаменимая, серосодержащая β-аминокислота [1]. Аминокислота таурин участвует в синтезе других аминокислот, является необходимым компонентом для обменных процессов ионов калия, кальция, натрия и магния. Таурин образуется либо из метионина, либо из цистеина. Цистеиндиокси-

геназа катализирует превращение цистеина в цистеинсульфинат, который затем превращается в гипотаурин посредством цистеинсульфинатдекарбоксилазы. Гипотаурин легко окисляется с образованием таурина, который может выводиться непосредственно или в виде конъюгата с желчными кислотами. Считают, что благоприятный эффект таурина в отношении уменьшения степени атерогенеза в основном определяется именно его связыванием с желчными кислотами. Одновременно назначение таурина достоверно снижает уровень холестерина, триглицеридов, липопротеинов низкой плотности и массу тела. Уменьшается количество холестерина в стенке аор-

ты, количество продуктов перекисного окисления липидов при одновременном повышении уровня глутатиона в пределах физиологической нормы [2], что выстраивает тенденцию к прекращению развития окислительного стресса птиц.

В современной литературе практически отсутствуют данные об определении таурина в яйцах перепелов, который повышает биологическую полноценность перепелиных яиц посредством улучшения физиологических показателей перепелов.

На сегодняшний день перепеловодство – быстроразвивающаяся и востребованная отрасль сельского хозяйства, в которой активно применяются кормовые добавки к основному рациону птиц для обогащения продукции витаминами, аминокислотами и полезными микро- и макроэлементами для поддержания и улучшения качественных показателей такой продукции, как мясо и яйца [3].

Продукция перепеловодства пользуется особым спросом в мире, что вызвано высокими вкусовыми качествами яиц и мяса, скороспелостью птицы и быстрой окупаемостью отрасли. Короткий период инкубации яиц, быстрое достижение половой зрелости перепелами позволяет получать до пяти поколений в год. В связи с этой особенностью перепелов эффективна работа, нацеленная на улучшение качественных показателей продукции, получаемой от перепелов.

Яйца являются высокоценным пищевым продуктом, содержащим в своем составе все необходимые вещества в оптимальных соотношениях и легко усвояемой форме. Одним из ценных и распространенных среди яиц являются именно перепелиные. Некоторые отечественные и зарубежные авторы предполагают, что перепелиные яйца являются продуктом, несущим в себе исключительную ценность: улучшают зрение, прибавляют сил, улучшают обмен веществ, снижают кровяное давление, успокаивают аллергические реакции, и рекомендуют употреблять их в сыром виде. Кроме того, по содержанию питательных веществ и витаминов перепелиные яйца занимают одно из первых мест и поэтому широко используются в детском и диетическом питании [4, 5, 6].

Метод капиллярного электрофореза

(КЭФ) – один из наиболее распространенных для решения сложной задачи детектирования аминокислот в матрицах благодаря высокой эффективности, меньшим требованиям к пробоподготовке и низкой себестоимости по сравнению с высокоэффективной жидкостной хроматографией. Он основан на разделении аминокислот по их электрическим зарядам и молекулярным размерам в электрическом поле, создаваемом в капилляре. Именно поэтому, одним из альтернативных методов определения таурина в яйцах перепелов является капиллярный электрофорез, посредством которого можно быстро, более рентабельно по сравнению с высокоэффективной жидкостной хроматографией, а также при малом количестве сопутствующих реактивов для осуществления анализа получить достоверный результат. Однако, информация о методике определения таурина в яйцах практически отсутствует в отечественной литературе.

Целью работы являлась разработка методики определения таурина методом капиллярного электрофореза и апробация ее для анализа перепелиных яиц.

Материалы и методы исследования

Для определения таурина в яйцах перепелов применялась система капиллярного электрофореза «Капель-205» с программным обеспечением «Эльфوران» и фотометрическим детектором, позволяющим проводить измерения в диапазоне длин волн от 190 нм до 380 нм. Для осуществления методики была подобрана кассета с кварцевым капилляром с внутренним диаметром 50 мкм и общей длиной 75 см. В результате проведенных исследований оптимизированы следующие условия определения таурина: длина волны детектирования, температура, время гидродинамического ввода пробы, отраженные в таблице 1, а также *pH* и природа фонового электролита. Также нами была выявлена оптимальная концентрация β -циклодекстрина в составе фонового электролита, ведь было установлено, что с увеличением концентрации β -циклодекстрина в фоновом электролите вид электрофореграммы изменяется и время миграции таурина по отношению к градуировочным электрофореграммам минимизировано.

Фоновым электролитом выступала смесь β-циклодекстрина, запасного фосфатного буферного раствора (состоящего из гидрофосфата натрия и дигидрофосфата натрия) и воды.

Пробоподготовка заключалась в извлечении таурина из желтка яиц путем экстракции белков с последующим кислотным гидролизом. После следует этап дериватизации с высвобождением ФТК-производного таурина с дальнейшим анализом матрицы.

Влияние температуры на электрофоретическое положение аминокислоты в выбранных условиях исследовано в диапазоне 20-30°C.

Установлено, что при повышении температуры с 20 до 30°C пик становится более узким и высоким, что способствует более высокой чувствительности и селективности обнаружения аминокислоты в исследуемых образцах желтков яиц перепелов. Для проведения анализа определения таурина была подобрана оптимальная температура осуществления измерений, составляющая 30 °С.

Для дальнейших исследований выбрана длина волны 254 нм, соответствующая максимальному значению светопоглощения таурина.

Таблица 1 – Условия проведения анализа определения таурина системой капиллярного электрофореза

Наименование параметра при вводе пробы	Значение параметра
Температура анализа	-
Время	5 с
Давление	30 мбар
Напряжение	0 кВт
Наименование параметра при анализе	Значение параметра
Температура анализа	254 нм 30.0 °С
Время	15 мин
Давление	0 мбар
Напряжение	25 кВт
Длина волны	254 нм

Был проведен эксперимент по изучению влияния таурина в рационе у перепелов 45-ти суточного возраста на их продуктивные качества, а именно на содержание таурина в яйцах. Объектом исследований служили перепела породы «Техасский перепел». Условия содержания были одинаковыми для цыплят всех групп, отличие было в кормлении птицы.

Перепела были случайным образом распределены на 3 группы по принципу аналогов в условиях клеточного содержания: первой группе давали основной рацион с добавлением таурина в концентрации 150 мг/кг, второй - основной рацион с добавлением таурина в концентрации 500 мг/кг, третья группа являлась контрольной и получала основной рацион без добавок. Данные концентрации были выбраны после анализа зарубежной литературы, как наиболее эффективные концентрации для обнаружения таурина в пищевой продукции. Эксперимент длился 4 недели. Изучаемые

добавка не оказала негативного влияния на жизнеспособность птицы. Регистрировали изучаемый показатель качества яиц: концентрацию таурина, как важного элемента цепи благополучного метаболизма птиц.

Результаты

Результаты исследований содержания таурина в желтке яиц экспериментальных групп представлены на рисунке. Степень извлечения составила – 85-100 %. По подобранным условиям осуществления анализа нами была построена градуировочная зависимость для определения точной концентрации таурина в желтках яиц перепелов, состоящая из пяти точек градуировки с заданными концентрациями.

Все значения, полученные от контрольной и опытных групп, находились в пределах градуировочных показателей.

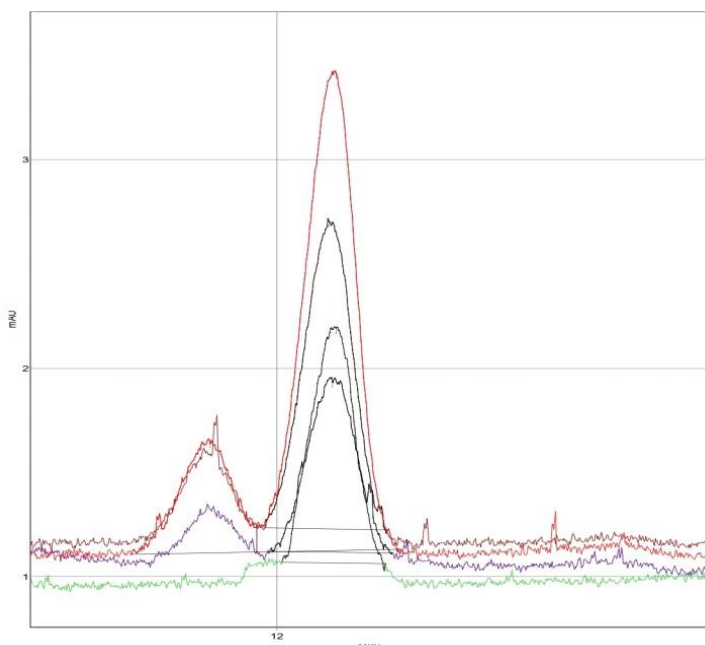


Рисунок – Электрофореграмма с полученной концентрацией таурина: 1) стандартный р-р таурина с известной концентрацией 60 мг/л; 2) концентрация таурина в яйцах, полученных от первой опытной группы; 3) концентрация таурина в яйцах, полученных от второй опытной группы; 4) концентрация таурина в яйцах, полученных от контрольной группы птиц

В результате проведённых исследований по определению таурина в яйцах мы наблюдали тенденцию увеличения данной аминокислоты в первой опытной группе на 18,2%, а во второй группе на 77,3% по отношению к контрольной группе перепелов, что представлено в таблице 2.

Помимо результатов анализа по содержанию таурина в перепелиных яйцах об улучшении биохимического фона также можно сказать, проанализировав органолептических по-

казатели перепелиных яиц, что отображено в таблице 3.

Исходя из данных таблицы 3, мы видим положительное влияние таурина, как добавки к основному рациону птицы, так как применение таурина способствовало увеличению массы яйца на 7,3% по отношению к контрольной группе в первой опытной группе и на 33% по отношению к контрольной группе во второй опытной группе.

Таблица 2 – Результаты исследований по содержанию таурина в перепелиных яйцах

№ п/п	Исследуемая группа	Значение концентрации таурина в яйцах (мг/л)	Содержание таурина (%) [*]
1.	Контрольная группа	20,48±6,96	2,03±0,69
2.	Опытная группа №1 (150 мг/кг)	23,74±8,07	2,40±0,82 [*]
3.	Опытная группа №2 (500 мг/кг)	35,94±12,22	3,60±1,23 [*]

^{*}P = 0,95; n = 3

Таблица 3 – Результаты органолептических показатели перепелиных яиц

№ п/п	Характеристика	Контроль	Опытная группа №1	Опытная группа №2
1.	Состояние воздушной камеры и ее высота	Неподвижная, высота воздушной камеры 2 мм		
2.	Состояние и положение желтка	Прочный, мало заметный		
3.	Плотность и цвет белка	Плотный, светлый, прозрачный		
4.	Масса одного яйца, г	10,9±0,1	11,7±0,3	14,5±0,4
5.	Масса 10 яиц, г	109,1±1,2 [*]	117,4±1,2 [*]	145,2±1,5 [*]

^{*}P = 0,95

Заключение

В ходе проведения работы разработана методика определения таурина в перепелиных яйцах с подобранными концентрациями составляющих фонового электролита, а также с оптимизированными условиями проведения анализа.

В ходе биологического эксперимента выявлена закономерность к увеличению концентрации таурина в яйцах перепелов опытных групп по отношению к контрольной группе. Увеличение данной аминокислоты в яйцах способствует получению биологически полноценной продукции перепеловодства для потребителя, поскольку таурин в организме играет роль нейромодулятора, обладает антиоксидантными и регенерирующими свойствами, а также выполняет функцию модуляции иммунитета.

Яйца перепелов - ценный продукт питания. По содержанию витаминов, микро- и макроэлементов они превосходят куриные. Их применяют для лечения и профилактики, различных заболеваний взрослых и детей. По скороспелости перепела превосходят другие виды птицы. Скороспелые куры начинают яй-

цекладку в возрасте 4-5 месяцев, тогда как перепелки начинают откладывать яйца в 35–45- дневном возрасте. За год самка перепела дает около 2,5 кг яичной массы, что больше её живой массы в 20 раз.

Как видно из наших исследований, опытная группа птиц имела преимущества по показателям таурина в яйцах в отличие от контрольной группы, очевидно, что применение таурина, как добавки к основному рациону перепелок способствует улучшению биохимических показателей.

Также яйца опытных групп преобладали в количественном определении массы по сравнению с яйцами контрольной группы, что говорит о благоприятном влиянии таурина на ростовые и количественные показатели продуктов, получаемых от птиц.

Исходя из полученных данных, мы также можем сделать вывод, что при повышении уровня таурина в яйцах перепелов, уровень данной аминокислоты в мясе птиц также способен увеличиваться, что благоприятно сказывается на качественных показателях мясной продукции, полученной от птиц, употреблявших в рацион таурин.

Библиографический список

1. Wang F.R. et al. Effects of dietary taurine on egg production, egg quality and cholesterol levels in Japanese quail // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010. Т. 90. №. 15. С. 2660-2663.
2. Frosini M., Sesti C., Dragoni S. et al. // *Brit. J. Pharmacol.* 2003. V.138, N6. P.1163–1171.
3. Бочарова П. А. Получение биологически полноценной продукции перепеловодства / П.А. Бочарова, В.М. Бачинская, А.А. Дельцов, Ю.В. Петрова // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2023. № 6. С. 63-69.
4. Бачинина К.Н., Карданов Ю.А. Перспективы использования перепелиных яиц при производстве продуктов питания // *Здоровьесберегающие технологии, качество и безопасность пищевой продукции: сборник статей по материалам всероссийской конференции с международным участием (Краснодар, 19 ноября 2021 г.)*. Краснодар: КубГАУ, 2021. С. 219-221.
5. Семилет Н.А., Шапошникова Е.С., Попова К.А. Использование перепелиных яиц для функционального питания // *Актуальные проблемы ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий: материалы международной научно-практической конференции*. (Саратов, 14-16 февраля 2023 г.). Саратов: СГАУ, 2023. С. 186-190.
6. Зотов А.А., Гупало И.М., Долгорукова А.М., Данилов Р.В., Мелехина Т.А., Тишенкова М.С., Рузакова Е.В. Качество перепелиных яиц и суточных перепелят породы «Радонежские» // *Птицеводство*. 2020 № 07-08. С. 39-43.

Referenses

1. Wang F.R. et al. Effects of dietary taurine on egg production, egg quality and cholesterol levels in Japanese quail // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010. Т. 90. №. 15. S. 2660-2663.
2. Frosini M., Sesti C., Dragoni S. et al. // *Brit. J. Pharmacol.* 2003. V.138, N6. P.1163–1171.
3. Bocharova P. A. Poluchenie biologicheskii polnocennoj produkcii perepelovodstva / P.A. Bocharova, V.M. Bachinskaya, A.A. Del'cov, YU. V. Petrova // *Veterinariya, zootekhniya i biotekhnologiya*. 2023. № 6. S. 63-69.
4. Bachinina K.N., Kardanov Yu.A. Perspektivy ispol'zovaniya perepelinyh yaic pri proizvodstve produktov pitaniya // *Zdorov'esberegayushchie tekhnologii, kachestvo i bezopasnost' pishchevoj produkcii: sbornik statej po*

materialam vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Krasnodar, 19 noyabrya 2021 g.). Krasnodar: KubGAU, 2021. S. 219-221.

5. Semilet N.A., Shaposhnikova E.S., Popova K.A. Ispol'zovanie perepelinyh yaic dlya funkcional'nogo pitaniya // Aktual'nye problemy veterinarnoj mediciny, pishchevyh i biotekhnologij: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. (Saratov, 14-16 fevralya 2023 g.). Saratov: SGAU, 2023. S. 186-190.

6. Zotov A.A., Gupalo I.M., Dolgorukova A.M., Danilov R.V., Melekhina T.A., Tishenkova M.S., Ruzakova E.V. Kachestvo perepelinyh yaic i sutochnyh perepelyat porody «Radonezhskie» // Pticevodstvo. 2020 № 07-08. S. 39-43.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 01.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 18.01.2024

Принята к публикации / Accepted 29.01.2024

© Н.А. Бачинская, Ю.С. Орлова, И.С. Нестеренко, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Бачинская Надежда Алексеевна – специалист отделения фармакологических лекарственных средств, безопасности пищевой продукции и кормов Всероссийского государственного Центра качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов.

Nadezhda Bachinskaya – Specialist in the Department of Pharmacological Medicines, Food and Feed Safety, Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality.

Орлова Юлия Сергеевна – заместитель заведующего отделением фармакологических лекарственных средств, безопасности пищевой продукции и кормов Всероссийского государственного Центра качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов.

Yulia Orlova – Deputy Head of the Department of Pharmacological Medicines, Food and Feed Safety, Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality.

Нестеренко Ирина Сергеевна – кандидат химических наук, заведующая отделением фармакологических лекарственных средств, безопасности пищевой продукции и кормов Всероссийского государственного Центра качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов

Irina Nesterenko – Candidate of Chemical Sciences, Head of the Department of Pharmacological Medicines, Food and Feed Safety, Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality.

Ссылка для цитирования: *Бачинская Н.А., Орлова Ю.С., Нестеренко И.С.* Определение сульфаминокислоты таурина в желтках яиц перепелов методом капиллярного электрофореза // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 35 - 40. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-35-40.

For citation: *Bachinskaya N.A., Orlova Yu.S., Nesterenko I.S.* Determination of taurine sulfoamino acid in quail egg yolks by capillary electrophoresis // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 35 - 40. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-35-40.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ХЛЕБНЫХ ЗАКВАСОК

М.Н. Локачук, О.А. Савкина, Е.Н. Павловская, Ю.М. Фролова
Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, Санкт-Петербург
Россия, 196608, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, шоссе Подбельского, 7
m.lokachuk@gosnihp.ru

Аннотация. Для оптимизации разводочного и производственного цикла приготовления ржаных заквасок, а также обеспечения стабильного качества хлебобулочных изделий и их устойчивости к микробной порче, является актуальным поиск новых штаммов молочнокислых бактерий и создание стартовых микробных композиций для выведения хлебных заквасок. Целью данной работы являлась сравнительная оценка биотехнологических свойств штаммов молочнокислых бактерий для дальнейшего отбора наиболее перспективных штаммов для приготовления заквасок для хлебопекарной промышленности по различным технологическим схемам. Показано, что все исследуемые штаммы молочнокислых бактерий развивались в мучной среде и проявляли высокую кислотообразующую активность. Установлено, что ржаные закваски, выведенные на исследуемых культурах, значительно различались по содержанию летучих кислот. Показано, что вновь выделенные штаммы обладают высокими биотехнологическими свойствами и могут быть перспективными для создания микробных композиций для ржаных заквасок.

Ключевые слова: закваски, кислотообразующая активность, молочнокислые бактерии.

Abstract. To optimize the technology of rye sourdoughs preparation, as well as ensure the stable quality of bakery products and their resistance to microbial spoilage, it is relevant to search for new strains of lactic acid bacteria and create starting microbial compositions for sourdoughs. The purpose of this work was a comparative assessment of the biotechnological properties of lactic acid bacteria strains for further selection of the most promising strains for the preparation of sourdough for the baking industry using various technological schemes. It was shown that all studied strains of lactic acid bacteria developed in a flour medium and exhibited high acid-forming activity. It was established that rye sourdoughs bred on the studied crops differed significantly in the content of volatile acids. It was shown that the newly isolated strains have high biotechnological properties and can be promising for creating microbial compositions for rye sourdoughs.

Key words: sourdough, acid-forming activity, lactic acid bacteria.

Введение

Закваска – это полуфабрикат хлебопекарного производства, полученный сбраживанием питательной смеси молочнокислыми бактериями или молочнокислыми бактериями и хлебопекарными дрожжами или другими микроорганизмами, применяемыми в хлебопекарной промышленности (ГОСТ 32677-2014). В последнее десятилетие отмечается тенденция распространения технологий на заквасках в связи с положительным их влиянием на физико-химические и органолептические показатели готовых изделий, пищевую ценность и функциональные свойства, а также на их

устойчивость к микробной порче [1].

Влияние заквасок на качество хлеба обусловлено влиянием метаболитов, продуцируемых микроорганизмами. Молочная и уксусная кислоты (и некоторые другие органические кислоты), вырабатываемые молочнокислыми бактериями, создают специфический кислый вкус хлеба. Органические кислоты, спирты, сложные эфиры, карбонилы, диоксид углерода, диацетил, перекись водорода и экзополисахариды, продуцируемые лактобациллами и дрожжами, могут улучшить вкус, запах хлебобулочных изделий. Комплекс сложных биохимических процессов, происходящих при бро-

жениизакваски, приводит к накоплению кислот, диоксида углерода, летучих соединений, увеличению содержания свободных аминокислот и других веществ, участвующих в формировании вкуса и запаха готовых изделий. Более 540 летучих органических соединений, принадлежащих к химическим веществам, таким как альдегиды, кетоны, сложные эфиры, кислоты, спирты, терпены и другие были идентифицированы в заквасках и хлебе на заквасках [2, 3, 4, 5]. Использование заквасок в технологии хлебобулочных изделий позволяет улучшить объем, текстуру, пищевую ценность.

Снижение уровня *pH* и образование органических кислот в результате брожения заквасок способствует снижению гликемического индекса хлеба на закваске и активации эндогенных фитаз муки, что приводит к расщеплению фитатов и увеличению биодоступности минералов [6, 7].

Традиционные технологии ржаного хлеба основаны на применении заквасок, что обусловлено особенностями белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов ржаной муки. На показатели качества заквасок оказывает непосредственное влияние состав заквасочной микробиоты. Много десятилетий на хлебопекарных предприятиях России и стран постсоветского пространства используются разные виды заквасок на чистых культурах молочнокислых бактерий и дрожжей, разработанные ФГАНУ НИИХП и его Санкт-Петербургским филиалом. На сегодняшний день наибольшее применение находят около 20 видов ржаных и пшеничных заквасок, отличающихся параметрами и режимами ведения (видом муки, влажностью, температурой, частотой освежений) [8].

Для каждого вида заквасок разработаны стартовые композиции микроорганизмов в различных формах – в нативном виде, в форме лиофилизатов, в виде микробных композиций, иммобилизованных на носителях из продуктов переработки зернового сырья (бакконцентраты «Вита» и «Грантум»). Стартовые композиции содержат определенные комбинации чистых культур молочнокислых бактерий и дрожжей из Коллекции микроорганизмов для хлебопекарной промышленности ФГАНУ НИИХП [9, 10].

Процесс приготовления заквасок включает разводочный и производственный циклы. В настоящее время большинство предприятий страны для выведения заквасок по разводочному циклу применяют чистые культуры заквасочных лактобацилл и дрожжей или стартовые микробные композиции (лактобактерин, «Вита», «Грантум»). По полному разводочному циклу закваску на данных композициях готовят от одного до четырех раз в год по установленному на каждом предприятии графику или по мере необходимости при ухудшении биотехнологических свойств закваски, смены партий муки, из-за вынужденных простоев или нарушений в работе установленного технологического оборудования.

В последние годы, в связи с активным развитием ремесленного и домашнего хлебопечения, возникла необходимость разработки технологии заквасок для выработки сортов хлеба с новыми вкусо-ароматическими свойствами. Поэтому становится актуальным вопрос поиска новых штаммов-кандидатов молочнокислых бактерий (МКБ) для создания стартовых микробных композиций для выведения хлебных заквасок с целью оптимизации биотехнологических свойств заквасок и качества хлеба. Использование новых штаммов МКБ становится возможным лишь после детального изучения их технологических свойств и идентификации. Целью данной работы являлась сравнительная оценка биотехнологических свойств штаммов МКБ для дальнейшего отбора наиболее перспективных штаммов для выведения хлебных заквасок.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись 9 штаммов МКБ из Коллекции культур микроорганизмов «Молочнокислые бактерии и дрожжи для хлебопекарной промышленности» СПбФ ФГАНУ НИИХП. Штаммы МКБ поддерживаются в коллекции методом периодических пересевов на солодовом сусле (12%СВ), *SFM* бульоне. Контролем служили штаммы лактобацилл В1, В2, В31, которые в течение многих десятилетий используются для выведения хлебных заквасок на промышленных предприятиях [9, 10]. Для скрининга биотехнологических свойств были отобраны новые штаммы

V172, V173, V175, с неуточненными биотехнологическими и биохимическими характеристиками, которые были выделены из пшеничной закваски хорошего качества (таблица 1). В целях выделения молочнокислых изолятов из заквасок отбирали пробы и готовили серию

последовательных десятикратных разведений, посев осуществляли поверхностным методом на агаризованные питательные среды (*SFM*, *MRS*) с последующим выделением микроорганизмов в чистую культуру.

Таблица 1 – Объекты исследования

Наименование штамма МКБ	Источник выделения, год
Контрольные штаммы	
<i>Lactocaseibacillusparacasei/ casei B31</i>	выделен в 1937 г. З.И. Шмидт из густой ржаной закваски хлебозавода № 15 (г. Ленинград)
<i>Lactiplantibacillusplantarum B1</i>	выделен З.И.Шмидт из густой ржаной закваски хлебозавода № 15 (г. Ленинград), 1937 г.
<i>Lactiplantibacillusparaplantarum B2</i>	выделен З.И.Шмидт из густой ржаной закваски хлебозавода № 4, (г. Ленинград), 1937 г.
Новые штаммы	
<i>Fructilactobacillus sanfranciscensis B131</i>	густая ржаная закваска длительного ведения, 2019 г.
<i>Lactobacillus</i> spp. B173	пшеничная закваска домашняя (г. Рига), 2021 г.
<i>Lactobacillus</i> spp. B175	пшеничная закваска домашняя (г. Рига), 2021 г.
Неуточненный род, номер штамма B172	пшеничная закваска домашняя (г. Рига), 2021 г.
<i>Levilactobacillusbrevis B120</i>	ферментированный продукт (квашеная капуста), 2019 г.
<i>Limosilactobacilluspontis B130</i>	жидкая ржаная закваска без заварки длительного ведения, спонтанного брожения, 2020 г.

Скрининг перспективных штаммов МКБ проводили по их кислотообразующей активности в водно-мучных питательных смесях. Кислотообразующая активность – одно из основных технологических свойств молочнокислых бактерий, которое является критерием отбора штаммов для использования в производстве ферментированных пищевых продуктов. Для изучения кислотообразующей активности МКБ готовили водно-мучные питательные смеси влажностью 57% из ржаной обдирной муки (ЧП 261 с, влажность 10,2%), в которые вносили изучаемые культуры МКБ в виде бактериальных суспензий, и выбраживали при температуре 30°C в течение 24 часов. Бактериальные взвеси готовили из культур изучаемых МКБ, выращенных на плотной питательной среде *San Francisco Base Medium Modified* (*Condalab*, Испания) с добавлением дрожжевого экстракта при температуре 30°C в течение 24 часов в анаэробных условиях, путем смыва 0,9% стерильным изотоническим раствором хлорида натрия. Бактериальную взвесь довели до мутности, соответствующей концен-

трации $1,5 \times 10^9$ клеток/мл, что равно 5 единицам МакФарландас помощью денситометра *BioSan DEN-1*. Через 24 часов брожения проводили определение титруемой кислотности. Для этого пробы титровали раствором гидроксида натрия в концентрации 0,1 моль/л в присутствии индикатора фенолфталеина до появления стойкого слабо-розового окрашивания, не исчезающего в течение 1 мин. Измерение *pH* проводили с использованием *pH*-метра «Эксперт-*pH*» согласно инструкции производителя. Количество клеток МКБ определяли методом Бургвица [9].

Результаты

В результате проведенных исследований по совокупности классических дифференциально-диагностических тестов (морфологических, культуральных и физиолого-биохимических признаков) установили принадлежность изолятов V173 и V175 к систематической группе – семейству *Lactobacillaceae*, роду *Lactobacillus*.

При микроскопии штамма V172 наблюда-

лись некрупные клетки в форме яйцевидных кокков, расположенных в скоплениях. Необходимо дальнейшая идентификация штамма с использованием анализа нуклеотидной после-

довательности гена 16S рРНК. Морфологические и культуральные свойства исследуемых штаммов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологические и культуральные признаки исследуемых штаммов

Номер штамма в коллекции	Культуральные свойства (характер роста)	Морфология МКБ
На среде MRS		
<i>Lactocaseibacillusparacasei/casei</i> B31	колонии округлой формы 1-2 мм в диаметре, беловатого цвета, блестящие, выпуклые (профиль – каплевидный), край ровный, гладкий, непрозрачные, поверхность гладкая	короткие палочки 0,8x1,2-2,0 мкм одиночные, по 2 и в коротких цепочках
<i>Lactiplantibacillusplantarum</i> B1	колонии округлой формы 1-2 мм в диаметре, сероватого цвета, поверхность гладкая, край ровный, плоские, блестящие	палочки толстые, достаточно короткие 0,8x1,6-3,2 мкм одиночные, по 2 и в коротких цепочках
<i>Lactiplantibacillusparaplantarum</i> B2	колонии округлой формы 2-3 мм в диаметре, сероватого цвета, поверхность гладкая, край ровный, плоские, блестящие	палочки толстые, разной длины 0,8-1,2x1,6-4,8 мкм одиночные, по 2 и в коротких цепочках
<i>Lactobacillus</i> spp. B173	колонии округлой формы, диаметром 3-4 мм, кремового цвета, блестящие, выпуклые, непрозрачные, с гладкой поверхностью и ровным краем	короткие толстые палочки, одиночные, парами и в скоплениях
<i>Lactobacillus</i> spp. B175	колонии серого цвета, диаметром 2-3 мм, плоские, блестящие, непрозрачные, с гладкой поверхностью и ровным краем	палочки толстые от коротких до средней длины, одиночные, парами и в коротких цепочках
Неуточненный род, номер штамма B172	колонии мелкие серого цвета, плоские, блестящие	некрупные клетки в форме яйцевидных кокков, расположенных в скоплениях
<i>Levilactobacillusbrevis</i> B120	колонии округлой формы 2-3 мм в диаметре, беловатого цвета, блестящие, плоские, поверхность гладкая, край ровный гладкий, прозрачнее, чем центр.	палочки размером 0,4-0,6x0,7-4,5 мкм, расположены парами и в коротких цепочках
На среде SFM		
<i>Limosilactobacilluspontis</i> B130	колонии округлой формы 8-10 мм в диаметре, серовато-белые, блестящие, плоские, поверхность немного шероховатая, край неровный, волнисто-зубчатый	нетолстые палочки 0,4-0,5x2-5 мкм в длинных извитых цепочках
<i>Fructilactobacillus sanfranciscensis</i> B131	колонии округлой формы 4-5 мм в диаметре, серовато-белые, блестящие, плоские, с гладкой поверхностью и ровным краем	мелкие тонкие палочки 0,3-0,4x1,5-3,5 мкм, некоторые слегка изогнутые, одиночные, парами и в коротких цепочках

Установлено, что уже в первые сутки брожения наблюдалось активное развитие внесенных культур МКБ в водно-мучной питательной среде. При брожении образцы мучных болтушек, ферментируемые молочнокислыми бактериями, имели разную консистенцию. Так, закваски на штаммах B175, B172, B131 значи-

тельно увеличились в объеме, были разрыхленными. Закваски различались по запаху, наиболее интенсивный заквасочный запах присутствовал в вариантах на штаммах B173, B131. На рисунках 1 и 2 приведены значения рН, титруемой кислотности и количества клеток МКБ в ржанных заквасках через 24 часа

ферментации. Все исследуемые штаммы имели высокую степень кислотообразования (более 15 град.). Наименьшее кислотообразование наблюдалось в образце, ферментируемом штаммом *Lactocaseibacillusparacasei/casei* B31. Наибольший прирост титруемой кислотности наблюдался в закваске, выведенной с использованием штамма *Fructilactobacillus-sanfranciscensis* B131. Отмечено также, что уровень pH значительно снизился в процессе брожения от 6,6 до 3,8-4,2.

Установлено (рисунок 1), что закваски значительно различались по содержанию летучих кислот, которые оказывают влияние на вкус и запах хлеба. Наибольшее количество летучих кислот продуцировали штаммы B131,

B175, B172, B120 и B130, что говорит о принадлежности указанных штаммов к группе гетероферментативных МКБ, которые сбрасывают гексозы до молочной, уксусной кислот, этанола и CO₂, в то время как гомоферментативные МКБ могут почти полностью превращать гексозы в молочную кислоту.

Динамика накопления биомассы является важной характеристикой культур молочнокислых бактерий, позволяющей судить о физиологической активности штамма. Установлено (рисунок 2), что количество клеток МКБ во всех заквасках было достаточно высоким и составляло от 9,3 до 9,5 lg клеток/г через 24 часа брожения.

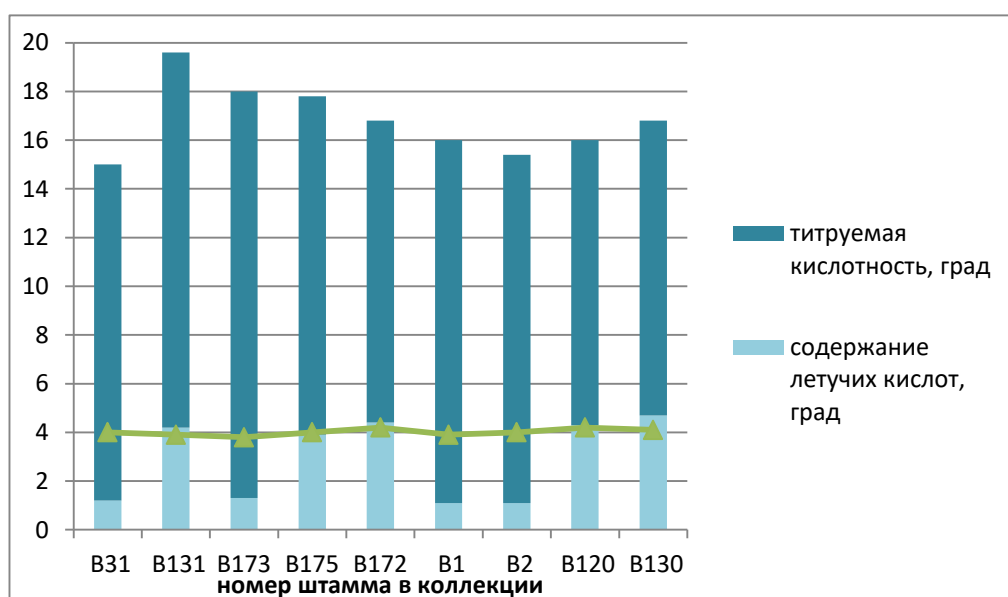


Рисунок 1 – Кислотообразование в заквасках на монокультурах МКБ через 24 часа брожения

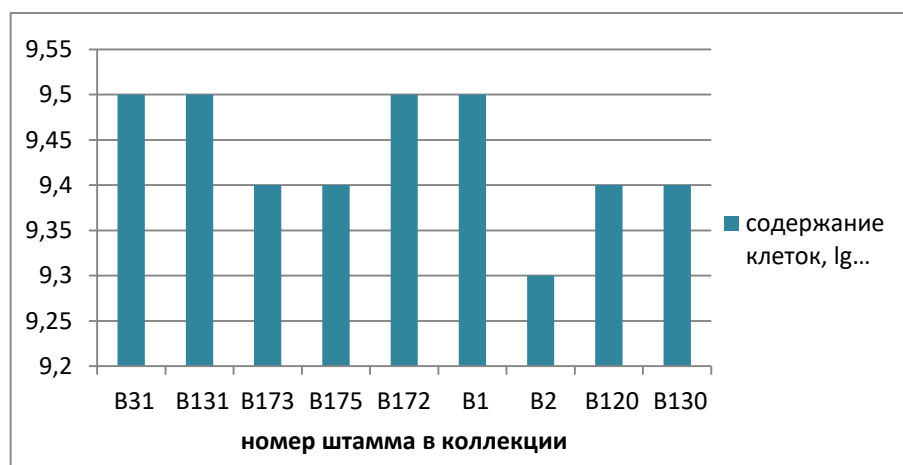


Рисунок 2 – Содержание клеток МКБ в заквасках на монокультурах через 24 часа брожения

В препаратах, приготовленных из выброженных заквасок, наблюдались микроорганизмы схожие по морфологическим признакам с внесенными культурами (палочки короткие и средней длины, тонкие или более толстые, одиночные или в цепочках). Посторонняя микробиота (кокки, спорообразующие бактерии) обнаруживалась в крайне низком количестве, что подтверждает, что кислая среда заквасок подавляет развитие посторонней микробиоты.

Заключение

Все исследуемые штаммы молочнокислых бактерий развивались в мучной среде и проявляли высокую способность к кислотообразованию. Показано, что закваски, выведенные на исследуемых культурах, значительно различались по содержанию летучих кислот. Вновь выделенные штаммы могут быть перспективными для создания новых микробных композиций для ржанных заквасок.

Библиографический список

1. Arora, K. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review/ K. Arora, H. Ameer, A. Polo [et. al] // Trends in Food Science & Technology. 2021. № 108. P. 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>.
2. Lutter, L. Volatile organic compounds and their generation in sourdough/ L. Lutter, I. Jödu, H. Andreson //Agronomy Research. 2023. 21(S2). P. 504–536. <https://doi.org/10.15159/AR.23.017>.
3. Cecile, P. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review/ P. Cecile, B. Onno, C. Prost // Trends in Food Science & Technology. 2017. № 59. P.105-123.
4. Settanni, L. An integrated technological approach to the selection of lactic acid bacteria of flour origin for sourdough production /L. Settanni [et. al] //Food Research International. 2013. № 54(2). P. 1569-1578. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.017>.
5. Hansen, A.Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects/A. Hansen, P. Schieberle //Trends in Food Science and Technology. 2005. 16(1). P.85-94.
6. Gobbetti, M. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods/ M.Gobbetti, C. G.Rizzello, R.Di Cagno, M.De Angelis // Food Microbiology. 2014. № 37. P. 30-40. doi:10.1016/j.fm.2013.04.012.
7. Gaenzle, M. G. Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality/ M. G. Gaenzle, J. Luponena, M. Gobbetti/Trends in Food Science & Technology. 2008. V.19 (Issue 10). P. 513–521.
8. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий/ под общ. ред. А.П. Косована. М.: Московская типография № 2, 2008. 268 с.
9. Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства. С-Пб. фил. Гос. НИИ хлебопекар. Пром-ти (СПб Ф ГосНИИХП). СПб.: Береста, 2003. 220 с.
10. Каталог культур микроорганизмов «Молочнокислые бактерии и дрожжи для хлебопекарной промышленности» из Коллекции Санкт-Петербургского филиала ГНУ ГОСНИИХП Россельхозакадемии / О.В. Афанасьева, Е.Н. Павловская, Л.И. Кузнецова. М.: Россельхозакадемия, 2008. 98 с.

References

1. Arora, K. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review/ K. Arora, H. Ameer, A. Polo [et. al] // Trends in Food Science & Technology. 2021. № 108. R. 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>.
2. Lutter, L. Volatile organic compounds and their generation in sourdough/ L. Lutter, I. Jödu, H. Andreson //Agronomy Research. 2023. 21(S2). R. 504–536. <https://doi.org/10.15159/AR.23.017>.
3. Cecile, P. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review/ P. Cecile, B. Onno, C. Prost // Trends in Food Science & Technology. 2017. № 59. R.105-123.
4. Settanni, L. An integrated technological approach to the selection of lactic acid bacteria of flour origin for sourdough production /L. Settanni [et. al] //Food Research International. 2013. № 54(2). R. 1569-1578. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.017>.
5. Hansen, A.Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects/A. Hansen, P. Schieberle //Trends in Food Science and Technology. 2005. 16(1). R.85-94.
6. Gobbetti, M. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods/ M.Gobbetti, C. G.Rizzello, R.Di Cagno, M.De Angelis // Food Microbiology. 2014. № 37. R. 30-40. doi:10.1016/j.fm.2013.04.012.

7. Gaenzle, M. G. Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality/ M. G. Gaenzle, J. Luponena, M. Gobbetti/Trends in Food Science & Technology. 2008. V.19 (Issue 10). R. 513–521.

8. Sbornik sovremennykh tekhnologij hlebobulochnykh izdelij/ pod obshch. red. A.P. Kosovana. M.: Moskovskaya tipografiya № 2, 2008. 268 s.

9. Afanas'eva O.V. Mikrobiologiya hlebopekarnogo proizvodstva. S-Pb. fil. Gos. NII hlebopekar. Prom-ti (SPb F GosNIIHP). SPb.: Beresta, 2003. 220 s.

10. Katalog kul'tur mikroorganizmov «Molochnokislye bakterii i drozhzhi dlya hlebopekarnoj promyshlennosti» iz Kollekcii Sankt-Peterburgskogo filiala GNU GOSNIIHP Rossel'hozakademii / O.V. Afanas'eva, E.N. Pavlovskaya, L.I. Kuznecova. M.: Rossel'hozakademiya, 2008. 98 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare no conflicts of interests*

Дата поступления в редакцию / Received 04.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 29.01.2024

Принята к публикации / Accepted 21.02.2024

© М.Н. Локачук, О.А. Савкина, Е.Н. Павловская, Ю.М. Фролова, 2024

**Сведения об авторах
List of Authors**

Локачук Марина Николаевна – старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности».

Marina Lokachuk – Senior Researcher, St. Petersburg Branch of the Federal State Scientific Institution «Research Institute of the Baking Industry».

Савкина Олеся Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник, заместитель директора по развитию Санкт-Петербургского филиала ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности».

Olesya Savkina – Candidate of Technical Sciences, Researcher, Deputy Director for Development, St. Petersburg Branch of the Federal State Scientific Institution «Research Institute of the Baking Industry».

Павловская Елена Николаевна – старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности».

Elena Pavlovskaya – Senior Researcher, St. Petersburg Branch of the Federal State Scientific Institution «Research Institute of the Baking Industry».

Фролова Юлия Михайловна – младший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности».

Yulia Frolova – Junior Researcher, St. Petersburg Branch of the Federal State Scientific Institution «Research Institute of the Baking Industry».

Ссылка для цитирования: *Локачук М.Н., Савкина О.А., Павловская Е.Н., Фролова Ю.М.* Биотехнологические свойства молочнокислых бактерий, выделенных из хлебных заквасок // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 41 - 47. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-41-47.

For citation: *Lokachuk M.N., Savkina O.A., Pavlovskaya E.N., Frolova Yu.M.* Biotechnological properties of lactic acid bacteria isolated from bread starters // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 41 - 47. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-41-47.

ИЗУЧЕНИЕ ГРУППОВОГО И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Р.Н. Нуреева, Д.С. Феофилова, И.С. Черепанов
Удмуртский государственный университет, Ижевск
426034, Россия, Удмуртия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1
cherchem@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований по изучению возможности разработки системы спектральной идентификации группового и компонентного состава растительных экстрактов на основе баз эталонных спектров сравнения, сформированных в виде спектральных таблиц. Применение разных видов экстракции позволило изучить и идентифицировать биологически активные компоненты растений: мяты длиннолистной и золотарника канадского различной природы и полярности (терпены, сапонины, полифенолы и др.). На основании полученных результатов показана перспективность разработки экспертных систем спектральной идентификации растительных экстрактов.

Ключевые слова: золотарник канадский, идентификация, мята длиннолистная, спектроскопия, экспертная система, экстракты, экстракция.

Abstract. The results of studies on the possibility of developing a system for spectral identification of the group and component composition of plant extracts based on databases of reference spectra for comparison, formed in the form of spectral tables, are presented. The use of different types of extraction made it possible to study and identify the biologically active components of plants: long-leaf mint and canadian goldenrod of various natures and polarities (terpenes, saponins, polyphenols, etc.). Based on the results obtained, the prospects for developing expert systems for spectral identification of plant extracts are shown.

Key words: canadian goldenrod, identification, longleaf mint, spectroscopy, expert system, extracts, extraction.

Введение

Растительные экстракты являются перспективными биологически активными составами, исследование состава которых представляется важной задачей аналитической и фармацевтической химии [1]. Среди методов идентификации и классификации важное место занимает колебательная спектроскопия, представляющая собой альтернативу более широко распространенным подходам (описательной морфологии, микроскопии, хроматографии) [2, 3]. В настоящее время предложены различные методики спектральной идентификации компонентов растительного сырья в рамках определенного вида или семейства [2, 3], при этом методы колебательной спектроскопии открывают более широкие возможности, в частности, разработки экспертных си-

стем анализа сложных объектов [4].

Перспективным источником с точки зрения получения нового вида лекарственного растительного сырья является золотарник (*Solidagocanadensis*L.). Лекарственные средства на основе некоторых видов рода золотарника широко используются в мировой медицинской практике, в частности, его экстракты применяются в качестве спазмолитического, диуретического и противовоспалительного средства.

В настоящее время для исследования состава растительных экстрактов широко используются хроматографические методы (высокоэффективная жидкостная хроматография) в сочетании с тандемной масс-спектрометрией. Применение для указанных целей более доступных спектроскопических

методов (ИК-Фурье спектроскопия, спектроскопия УФ и видимой области) в сочетании с фитохимическим анализом позволяет охарактеризовать функционально-групповой состав (классы извлекаемых классическими растворителями или сверхкритической экстракцией вторичных метаболитов растений) экстрактов и оценить соотношение биологически активных компонентов. Регистрация и анализ колебательных спектров поглощения и отражения с применением современных ИК-Фурье спектрометров дает возможность исследовать как фракционированные с применением хроматографических методов экстракты, так и извлекаемые из разных частей растений масла без их предварительного разделения с подтверждением спектральных данных результатами фитохимического анализа. Информация о функционально-групповом и фитохимическом составе растительных экстрактов (в совокупности с их свойствами, в частности, показателями их антиоксидантной активности) позволит направленно планировать и проводить биохимические исследования, результатом которых станет разработка и внедрение функциональных препаратов медицинского назначения.

В настоящей работе представлены ре-

зультаты исследований по изучению докритических CO_2 -экстрактов и соответствующих шротов растений мяты длиннолистной (*Mentha longifolia*L.) и золотарника канадского (*Solidagocanadensis*L.), а также возможности применения для этих целей сочетания методов разделения и экспертных систем спектральной идентификации извлечений из растительного сырья различной природы.

Экспериментальная часть

CO_2 -экстракты растений мяты длиннолистной (*Menthalongifolia*L.) и золотарника канадского (*Solidagocanadensis*L.) в докритическом режиме (экстрактор РАЭ-01-05; 10 МПа; 50°C) получены на кафедре физиологии, клеточной биологии и биотехнологии Удмуртского государственного университета. Для детализации состава полученные экстракты (0,5 мл) обрабатывали растворителями (2 мл) различной полярности (96 и 47% этанол, 0,1 н. водный *NaOH*). Аналогичным способом дополнительно разделяли шроты после CO_2 -экстракции посредством приготовления их водно-спиртовых вытяжек (0,5 г образца в 20 мл растворителя). Последовательность пробоподготовки показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пробоподготовка CO_2 -экстрактов мяты длиннолистной и золотарника канадского

ИК-Фурье спектры поглощения регистрировали на ИК-Фурье спектрометре «ФСМ-2201» (ООО «Инфраспек», СПб), жидкие образцы (0,1 мл) готовили в форме тонких пленок на *KBr*-подложках, твердые фазы после

полного удаления растворителя (1 мг) – в форме таблеток (1:200 *KBr*, интервал волновых чисел 4000–400 cm^{-1} , разрешение по волновому числу 4 cm^{-1} при 60 сканах). Обработку спектров проводили в программе *FSpec*

4.3.0.9. Базы эталонных спектров (спектров сравнения) компонентов экстрактов формировали в виде спектральных таблиц на основе

литературных данных и собственных измерений (рисунок 2).



Рисунок 2 – Блок-схема анализа спектральных данных

Результаты

Современные методики спектральных измерений позволяют добиться достаточного разрешения сигналов, что позволяет выделять характерные для различных изомерных компонентов даже близкого строения, при этом усреднение многократным сканированием обеспечивает достаточную достоверность результатов.

Так, для терпеновой фракции (рисунок 3) в составе CO_2 -экстракта мяты в спектре регистрируются сигналы 1676 см^{-1} (сопряженная $\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$ -система), дублет $1365+1375 \text{ см}^{-1}$ (гем-диметил $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$) и $3069, 897 \text{ см}^{-1}$ ($=\text{CH}_2$), 1700 см^{-1} ($\text{C}=\text{O}$), что позволяет различать изомерные терпеноидные кетоны пиперитон и изопулегон [5, 6, 7].

Разумеется, перечисленные сигналы могут быть отнесены и к другим компонентам,

в частности, терминальные $=\text{CH}_2$ -фрагменты имеют карвоны, сабинены, β -пинен, тогда как несопряженные $\text{C}=\text{O}$ -функции характерны для ментона. В этом случае компонентный состав детализируется с привлечением литературных данных по фитохимическому составу растений, либо приводится групповой (фракционный) состав экстрактов (рисунок 2).

В спектрах экстрактов золотарника также наблюдается несколько полос, относимых к терминальным дизамещенным $>\text{C}=\text{CH}_2$ -фрагментам ($3076\pm 2, 1643\pm 2 \text{ см}^{-1}$) монотерпенов (β -мирцен, β -пинен и др.), полоса $943\pm 2 \text{ см}^{-1}$ характеризует структурные фрагменты γ -терпинена ($>\text{C}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}<$) [5], сигнал $884\pm 1 \text{ см}^{-1}$ относится к ω_{CH_2} β -кариофилленаис-пинена [7, 8]. Полоса 655 см^{-1} относится к плоскостным деформационным колебаниям $\delta_{\text{C}-\text{CO}}$ терпеновых кетонов [9].

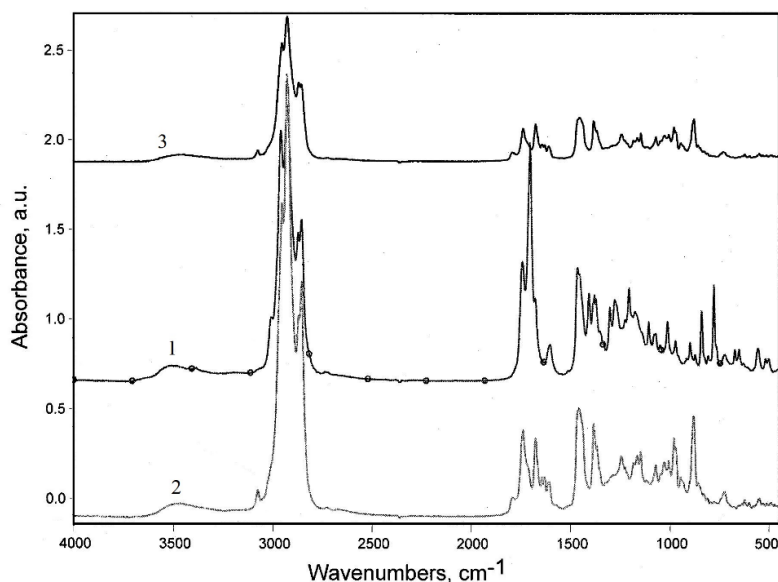


Рисунок 3 – ИК-Фурье спектры CO_2 -экстрактов: 1 – мята (листья); 2 – золотарник (соцветия); 3 – золотарник (листья) (тонкие пленки)

Различные виды экстракции позволяют извлекать из растительного сырья вещества разной полярности, помогая при этом полностью или частично снять ограничения методов колебательной спектроскопии при изучении сложных многокомпонентных систем [2]:

- перекрывание полос поглощения при совместном присутствии близких по природе веществ;

- смещение максимумов и изменение интенсивности полос поглощения вследствие взаимного влияния компонентов экстрактов;

- неоднородность образцов, вызывающая варьирование интенсивности полос.

Водно-этанольные экстрагенты различного состава позволяют дифференцированно извлекать полифенольные компоненты. Так, кверцетин лучше растворим в 47% этаноле, а его гликозиды – в воде. Изучение спектров водных и водно-спиртовых вытяжек шротов золотарника позволило по наличию полос в области 1100–1000 cm^{-1} идентифицировать 3-О-гликозиды кверцетина и кампферола, в частности, гиперозид – кверцетин-3-О-галактозид и кверцитрин – кверцетин-3-О-рамнозид (рисунок 4).

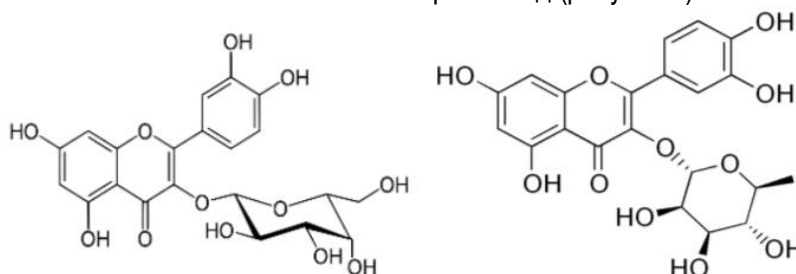


Рисунок 4 – 3-О-гликозиды кверцетина и кампферола: а – гиперозид; б – кверцитрин

Последнее также подтверждается наличием в спектрах обеих систем полос 1110 cm^{-1} , относимых по данным [10] к ν^{as} -колебаниям $\text{C}_3(\text{кверцетин})-\text{O}-\text{C}_1(\text{углевод})$.

В целом компонентный состав шротов после CO_2 -экстракции, установленный в ходе исследования, представлен в таблице.

Совокупность данных о характеристиках экстрактов, полученные в ходе описанных экспериментов, позволяет формировать своего рода «базы знаний» [4], на основе которых могут разрабатываться системы экстракционно-спектральной идентификации извлечений из растительного сырья (рисунок 5).

Таблица – Компонентный состав вытяжек растворителями различной полярности шротов растений после CO₂-экстракции

Сырье	96% EtOH	47% EtOH	H ₂ O
Мята (листья)	Полиметоксифлавоны, розмариновая кислота, сложные эфиры олеаноловой кислоты	Лютеолин, апигенин, их гликозиды, рутин, гесперидин, фенолокислоты	Апигенин- и лютеолин гликозиды, рутин, фенолокислоты
Золотарник (соцветия)	Хлорогеновая кислота, эфиры кофейной и олеаноловой кислоты, рутин, кверцетин, гиперозид	Байогенин-сапонины, рутин, гесперидин, кверцетин, гиперозид, розмариновая кислота	Флавонол-гликозиды, канаденси-сапонины
Золотарник (листья)			

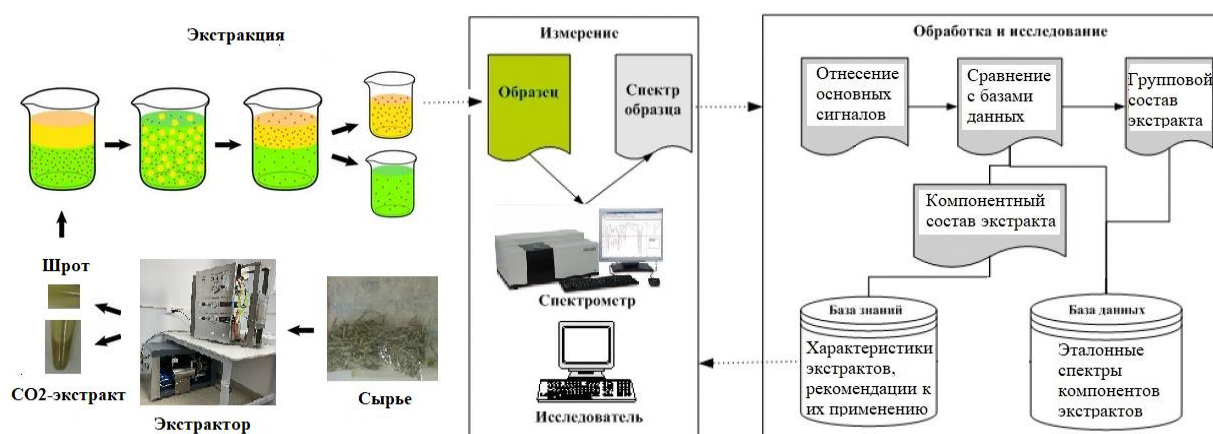


Рисунок 5 – Блок-схема системы экстракционно-спектральной идентификации

Подобные «базы знаний» в настоящее время нами формируются с привлечением соответствующего программного обеспечения. Так, спектры индивидуальных компонентов экстрактов, а также их компаундов, вносятся в электронные базы данных, в частности, в программный пакет *ZalR* (ООО «Инфраспек»).

Заключение

ИК-спектральный анализ докритических CO₂-экстрактов и соответствующих шротов растений мяты длиннолистной (*Mentha longifolia*L.) и золотарника канадского (*Solidagocanadensis*L.) позволило идентифицировать и изучить биологически активные компоненты различной природы и полярности (терпены, сапонины, полифенолы и др.).

Кроме того, на образцах докритических CO₂- и водно-этанольных экстрактов, а также соответствующих шротов лекарственных растений Удмуртии обоснована возможность разработки системы спектральной идентификации компонентов и групп биологически активных соединений.

Благодарности

Выражаем благодарность заведующему кафедрой физиологии, клеточной биологии и биотехнологии Удмуртского государственного университета, доктору биологических наук, профессору Сергееву В.Г. и кандидату биологических наук, доценту Черенкову И.А. за оказанную помощь и руководство при проведении исследований.

Библиографический список

1. Черепанов И.С., Феофилова Д.С., Нуреева Р.Н. Исследование гексановых экстрактов тест-растений *Cucumis sativus* L., пророщенных в растворах препарата на основе синтетических гуминовых веществ // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2022. Т. 76, № 5. С. 3–7.
2. Тамахина А.Я. Экспресс-диагностика подлинности растительного сырья сем. Boraginaceae методом ИК-Фурье спектроскопии // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2021. Т.58, № 4. С. 99–107.
3. Пат. 2493555 РФ. МПК8 G01N 21/35. ИК-спектроскопический экспресс-способ определения качества лекарственного растительного сырья / Н.В. Ильяшенко, В.Д. Ильяшенко, П.М. Пахомов, И.Н. Межеумов. Заявлено 21.05.2012; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26. 11 с.
4. Деркачева О.Ю., Сухов Д.А., Хейфец Д.М. Молекулярная спектроскопия как основа экспертной системы различных видов бумаги // *Фотографии. Изображения. Документ*. 2011. № 2. С. 66–71.
5. Limem S., Maazaoui R., Kongnine D., Mokhtar F., Karmous T. Preliminary identification of *Citrullus Colocynthis* from Togo by FT-IR and Raman Spectroscopy // *Int. J. Adv. Res.* 2015. Vol. 3. P. 354–360.
6. Schulz H., Ozkan G., Baranska M., Kruger H., Oscan M. Characterization of Essential Oil Plants from Turkey by IR and Raman Spectroscopy // *Vibrational Spectroscopy*. 2005. Vol. 39. P. 249–254.
7. Феофилова Д.С., Нуреева Р.Н., Черепанов И.С. Изучение состава CO₂-экстрактов лекарственных растений Удмуртской Республики методом ИК-Фурье спектроскопии // *Химия. Экология. Урбанистика: материалы всеросс. научн.-практ. конф. (с междунар. участием), (Пермь, 19-21 апреля 2023 г.)*. В 4-х т. / гл. ред. В.Н. Коротаев. Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2023. Т.4. С. 189–192.
8. Kolodziej B., Kowalski R., Kedzia B. Antibacterial and Antimutagenic Parts of Three *Solidago* species: *Solidago virgaurea* L., *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Ait. // *J. Med. Plant Res.* 2011. Vol. 5. P. 6770–6779.
9. Petrakis E., Kimbaris A., Pappas C., Tarantilis P., Polissiou M. Quantitative Determination of Pulegone in Pennyroyal Oil by FT-IR Spectroscopy // *J. Agric. Food Chem.* 2009. Vol. 57. P. 10044–10048.
10. Mamylov S.G., Orlov D.V. Mechanochemical interaction of quercetin and glucose. Detecting glycoside bond in IR spectra // *Chemistry for Sustainable Development*. 2018. Vol. 26. P. 525–529.

References

1. Cherepanov I.S., Feofilova D.S., Nureeva R.N. Issledovanie geksanovykh ekstraktov test-rastenij *Cucumis sativus* L., proroshchennykh v rastvorah preparata na osnove sinteticheskikh guminovykh veshchestv // *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*. 2022. T. 76, № 5. S. 3–7.
2. Tamahina A.Ya. Ekspress-diagnostika podlinnosti rastitel'nogo syr'ya sem. Boraginaceae metodom IK-Fur'e spektroskopii // *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. T.58, № 4. S. 99–107.
3. Pat. 2493555 RF. MПК8 G01N 21/35. IK-spektroskopicheskij ekspress-sposob opredeleniya kachestva lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya / N.V. Il'yashenko, V.D. Il'yashenko, P.M. Pahomov, I.N. Mezheumov. Zavleno 21.05.2012; opubl. 20.09.2013. Byul. № 26. 11 s.
4. Derkacheva O.Yu., Suhov D.A., Hejfec D.M. Molekulyarnaya spektroskopiya kak osnova ekspertnoj sistemy razlichnykh vidov bumagi // *Fotografii. Izobrazheniya. Dokument*. 2011. № 2. S. 66–71.
5. Limem S., Maazaoui R., Kongnine D., Mokhtar F., Karmous T. Preliminary identification of *Citrullus Colocynthis* from Togo by FT-IR and Raman Spectroscopy // *Int. J. Adv. Res.* 2015. Vol. 3. P. 354–360.
6. Schulz H., Ozkan G., Baranska M., Kruger H., Oscan M. Characterization of Essential Oil Plants from Turkey by IR and Raman Spectroscopy // *Vibrational Spectroscopy*. 2005. Vol. 39. P. 249–254.
7. Feofilova D.S., Nureeva R.N., Cherepanov I.S. Izuchenie sostava CO₂-ekstraktov lekarstvennykh rastenij Udmurtskoj Respubliki metodom IK-Fur'e spektroskopii // *Himiya. Ekologiya. Urbanistika: materialy vserruss. nauchn.-prakt. konf. (s mezhdunar. uchastiem), (Perm', 19-21 aprelya 2023 g.)*. V 4-h t. / gl. red. V.N. Korotaev. Perm': Izd-vo PNIPIU. 2023. T.4. S. 189–192.
8. Kolodziej B., Kowalski R., Kedzia B. Antibacterial and Antimutagenic Parts of Three *Solidago* species: *Solidago virgaurea* L., *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Ait. // *J. Med. Plant Res.* 2011. Vol. 5. P. 6770–6779.
9. Petrakis E., Kimbaris A., Pappas C., Tarantilis P., Polissiou M. Quantitative Determination of Pulegone in Pennyroyal Oil by FT-IR Spectroscopy // *J. Agric. Food Chem.* 2009. Vol. 57. P. 10044–10048.
10. Mamylov S.G., Orlov D.V. Mechanochemical interaction of quercetin and glucose. Detecting glycoside bond in IR spectra // *Chemistry for Sustainable Development*. 2018. Vol. 26. P. 525–529.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 04.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 29.01.2024

Принята к публикации / Accepted 21.02.2024

© Р.Н. Нуреева, Д.С. Феофилова, И.С. Черепанов, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Нуреева Регина Наильевна – студентка магистратуры кафедры фундаментальной и прикладной химии Удмуртского государственного университета.

Regina Nureyeva – Master's Student at the Department of Fundamental and Applied Chemistry, Udmurt State University.

Феофилова Дарья Сергеевна – студентка магистратуры кафедры фундаментальной и прикладной химии Удмуртского государственного университета.

Daria Feofilova – Master's Student at the Department of Fundamental and Applied Chemistry, Udmurt State University.

Черепанов Игорь Сергеевич – кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной и прикладной химии Удмуртского государственного университета.

Igor Cherepanov – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental and Applied Chemistry, Udmurt State University.

Ссылка для цитирования: *Нуреева Р.Н., Феофилова Д.С., Черепанов И.С.* Изучение группового и компонентного состава растительных экстрактов с применением методов разделения и спектральной идентификации // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 48 - 54. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-48-54.

For citation: *Nureyeva R.N., Feofilova D.S., Cherepanov I.S.* Study of the group and component composition of plant extracts using separation and spectral identification methods // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 48 - 54. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-48-54.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

М.А. Пашкевич, А.Э. Коротаева, Д.С. Петров

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2

Korotaeva_AE@pers.spmi.ru

Аннотация. В настоящее время фиторемедиация является альтернативным методом очистки загрязненных вод различного происхождения. Он основан на использовании метаболической активности прибрежно-водной растительности, что позволяет поглощать, аккумулировать и нейтрализовать такие загрязняющие вещества как металлы, биогенные соединения, пестициды и нефтепродукты. Целью данной работы являлось исследование закономерностей, а также оценка количественной характеристики накопления растениями металлов из водной среды. Для проведения исследования в полевых условиях отбирались пробы воды и донных отложений, а также экземпляры прибрежно-водной растительности пяти экологических групп. В лабораторных условиях осуществлялась их пробоподготовка с дальнейшим проведением кислотной экстракции и определением в получившихся растворах концентрации металлов (Zn, Cu, Mn и Fe) в надземной и подземной частях растений. В результате проведенного исследования были получены количественные показатели накопления металлов рассматриваемыми видами растений и выявлены виды с наибольшими значениями аккумуляционной способности в различных тканях. Полученные данные позволяют рекомендовать исследуемые виды прибрежно-водной растительности для использования в процессе фиторемедиации водных экосистем от определенных металлов.

Ключевые слова: биоаккумуляция, биоремедиация, высшая водная растительность, фиторемедиация.

Abstract. At present, phytoremediation is an alternative method for treating contaminated waters of different origins. It uses the metabolic activity of coastal and aquatic vegetation to absorb, accumulate and neutralize pollutants such as metals, biogenic compounds, pesticides and petroleum products. The aim of this work was to study patterns, as well as to assess the quantitative characteristics of the accumulation of metals from the aquatic environment by plants. Water and sediment samples as well as coastal and aquatic vegetation samples from five environmental groups were taken for field testing. Under laboratory conditions, they were sampled with further acid extraction and determination of metal concentration (Zn, Cu, Mn and Fe) in the above-ground and underground parts of plants. As a result of the study, quantitative indicators of metal accumulation by the considered plant species were obtained and species with the highest accumulative capacity in various tissues were identified. The data obtained allow the study of coastal and aquatic vegetation species to be recommended for use in the phytoremediation of aquatic ecosystems from certain metals.

Key words: bioaccumulation, bioremediation, higher aquatic vegetation, phytoremediation.

Введение

Развитие современного общества в XXI веке сопровождается использованием большого количества природных ресурсов для удовлетворения возрастающих потребностей населения, что приводит к увеличению коли-

чества производимых газообразных, твердых и жидких отходов [1, 2].

Вопрос загрязнения поверхностных и подземных водных объектов не перестает быть актуальным на протяжении последних лет. Нерегулируемое поступление в окружающую

среду огромного спектра загрязняющих веществ, таких как взвешенные частицы, биогенные соединения, металлы и металлоиды, оказывает негативное воздействие на качество водных и почвенных систем, а также на обитающих там живых организмов [3, 4, 5]. Нормирование предельно допустимых концентраций поллютантов в окружающей среде, особенно, в водных объектах, является важным шагом для снижения антропогенного воздействия на компоненты экосистемы и обеспечения здоровья живых организмов и человека.

Металлы являются одними из опасных веществ в составе сточных вод, что обуславливается их токсическим воздействием на экосистему ввиду отсутствия естественных механизмов их биологической деструкции [6, 7]. В

настоящее время снижение концентрации металлов осуществляется в результате сорбции, ионного обмена, обратного осмоса, электрохимического и реагентного методов. Однако наиболее перспективным методом удаления металлов является фиторемедиация, которая заключается в использовании метаболического потенциала растений, в том числе прибрежно-водной растительности [8].

Поглощение металлов из водной среды в процессе фиторемедиации осуществляется в результате протекания различных механизмов: ризофилтрации, фитоэкстракции, фитостабилизации, фитодегградации и фитоволатализации, отличающихся механизмом поступления и переноса металлов в органах растений (рисунок 1) [1, 9].

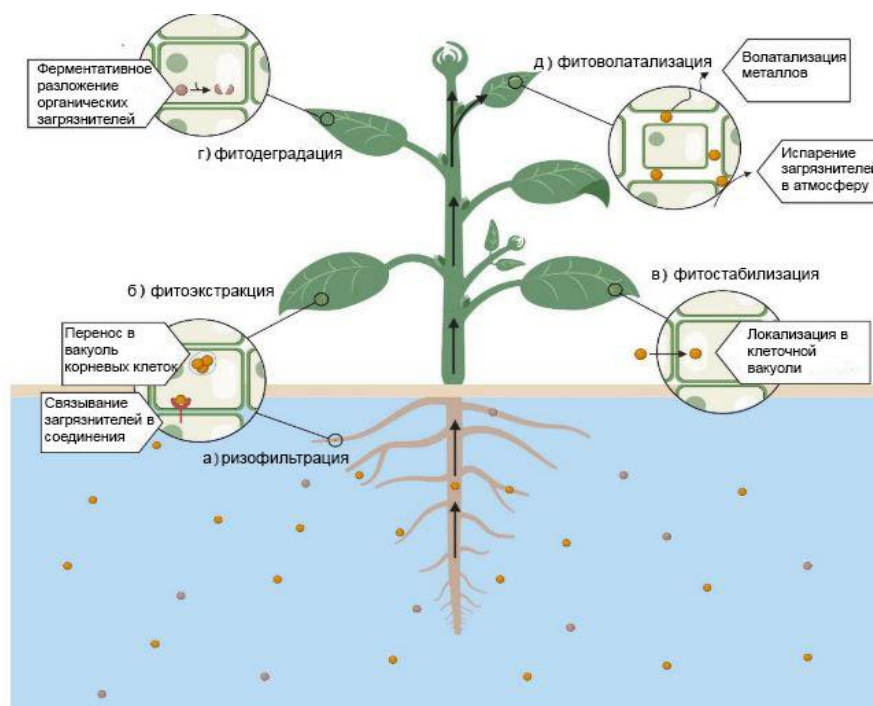


Рисунок 1 – Механизмы процесса фиторемедиации сточных вод [10]

Фиторемедиация представляет собой комплексный метод очистки и не ограничивается процессом прямого поглощения, метаболизмом и аккумуляцией загрязняющих веществ растениями в своих тканях. Жизнедеятельность определенных микроорганизмов, связанных с ризосферой, способствует преобразованию формы металлов доступной к дальнейшей аккумуляции растениями [11].

Такие металлы, как *Zn*, *Cu*, *Mn* и *Fe* явля-

ются эссенциальными микроэлементами для растений в связи с их участием в составе ферментов в биохимических и физиологических процессах [12]. Концентрация данных элементов в тканях растений во многом обусловлена параметрами среды произрастания. Тем не менее, существуют виды, называемые гипераккумуляторами, которые способны поглощать и накапливать в своей биомассе концентрации металлов, в сотни и тысячи раз

превышающие их содержание в природных средах [13].

Методы исследования

Настоящая работа проводилась с целью выявления закономерностей накопления металлов из водной среды в различных органах прибрежно-водной растительности, а также изучения ее аккумуляционной способности. В исследовании осуществлялось количественное определение аккумуляционной способности растений по отношению к металлам с выделением видов, имеющих потенциал к использованию в процессе фиторемедиации водных объектов. Объектом исследования выступали различные виды прибрежно-водной растительности. В качестве предмета исследования рассматривается аккумуляционная способность прибрежно-водной растительности по отношению к металлам в водной среде и донных отложениях.

Исходя из цели исследования были обозначены следующие задачи:

1. Отбор экземпляров различных видов прибрежно-водной растительности в течение периода вегетации.

2. Пробоподготовка отобранных экземпляров растений в лабораторных условиях с дальнейшим анализом в полученных пробах концентрации металлов.

3. Выявление закономерностей накопления металлов в различных тканях прибрежно-водной растительности, а также видов растений с потенциалом использования в процессе фиторемедиации водных объектов.

Для изучения способности прибрежно-водной растительности накапливать различные металлы (*Zn*, *Cu*, *Mn* и *Fe*) проводился отбор 5-10 экземпляров растений в основные фазы периода вегетации. Отбираемые виды прибрежно-водной растительности принадлежат пяти экологическим группам: нейстофитам, ризогидрофитам, гигрофитам, гидрогелофитам и гигрогелофитам и представлены роголистником погруженным (*Ceratophyllum demersum* L.), телорезом алоэвидным (*Stratiotes aloides* L.), кубышкой жёлтой (*Nuphar lutea* L.), стрелолистом обыкновенным (*Sagittaria sagittifolia* L.), рогозом широколистным (*Typha latifolia*

L.), белокрыльником болотным (*Calla palustris* L.), осокой острой (*Carex acuta* L.), канареечником тростниковидным (*Phalaris arundinacea* L.) and таволгой вязолистной (*Filipendula ulmaria* L.). Проводился отбор проб воды и донных отложений для подсчета значений фактора биоконцентрирования.

В рамках исследования в лаборатории научного центра «Экосистема» производилось разделение отобранных экземпляров прибрежно-водной растительности на надземную (листья и стебли) и подземную (корни) части и высушивание до воздушно-сухого состояния. Полученные части растений озолялись в муфельной печи, после чего зола подвергалась процессу кислотной экстракции при добавлении азотной кислоты. Далее растворы фильтровались с целью удаления твердых частиц, и проводилось определение концентрации металлов в фильтрате с помощью спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICPE-9000 (*Shimadzu*).

Обсуждение результатов

Для проведения количественной оценки аккумуляционной способности прибрежно-водной растительности рассчитывались значения фактора биоконцентрирования (*BCF*), который характеризует способность растений накапливать металлы в своих органах из окружающей среды [14]. В таблице приведены значения данного фактора, рассчитанного по отношению к концентрации металлов в водной среде.

Из таблицы видно, что наибольшие значения фактора биоконцентрирования для большинства видов прибрежно-водной растительности наблюдаются по отношению к марганцу и железу. Самая высокая степень аккумуляционной способности к марганцу отмечена у роголистника погруженного и телореза алоэвидного, а также у частей растений, находящихся в воде, что свидетельствует о поглощении данного металла всей поверхностью тела из водной среды, в то время как для железа наблюдается накопление металлов в подземной части у укореняющихся видов растений.

Таблица 1 – Значения фактора биоконцентрирования в различных частях прибрежно-водной растительности для водной среды

Вид растения	Значения фактора биоконцентрирования			
	Zn	Cu	Mn	Fe
Роголистник погруженный	4486	1062	51776	6775
Телорез алоэвидный	1615	490	10290	1027
Кубышка жёлтая				
Листья	641	178	3338	450
Стебли	1559	137	4197	290
Стрелолист обыкновенный				
Листья	11435	4694	35839	31686
Корни	6421	206	6312	80167
Рогоз широколистный				
Листья	3623	1347	11392	3475
Корни	5741	1939	3032	19047
Белокрыльник болотный				
Листья	1746	296	1877	244
Стебли	2323	731	1400	630
Корни	3173	794	4193	6673
Осока острая	1515	271	2535	648
Канареечник тростниковидный				
Листья	128	240	1306	870
Корни	1898	1815	8158	9597
Таволга вязолистная				
Листья	2063	416	341	208
Корни	2818	1456	1673	1301

Следует отметить, что стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.) и роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.) показали наибольшую аккумуляционную способность в своих тканях по сравнению с другими исследованными видами растений.

Был произведен подсчет фактора биоконцентрирования с концентрациями металлов в донных отложениях для сравнения способности растений накапливать металлы в своих органах из различных сред. Для каждого вида наблюдается сходная закономерность аккумуляции, поэтому на рисунке 2 для наглядности представлены результаты по марганцу.

На рисунке 2 в прямоугольниках приведены до кривой значения фактора биоконцентрирования по отношению к концентра-

ции металла в воде, после кривой – по отношению к содержанию в донных отложениях. Цифрами на рисунке 2 обозначены: 1 – роголистник погруженный, 2 – телорез алоэвидный, 3 – кубышка жёлтая, 4 – стрелолист обыкновенный, 5 – рогоз широколистный, 6 – белокрыльник болотный, 7 – осока острая, 8 – канареечник тростниковидный, 9 – таволга вязолистная.

Из рисунка 2 прослеживается, что произошло накопление концентраций металлов во всех видах растений в сотни и тысячи раз превышающих концентрации данных металлов в компонентах окружающей среды. При этом значения фактора биоконцентрирования для водной среды в несколько раз больше, чем для донных отложений, что может быть объяснено более высоким содержанием металлов в последних.

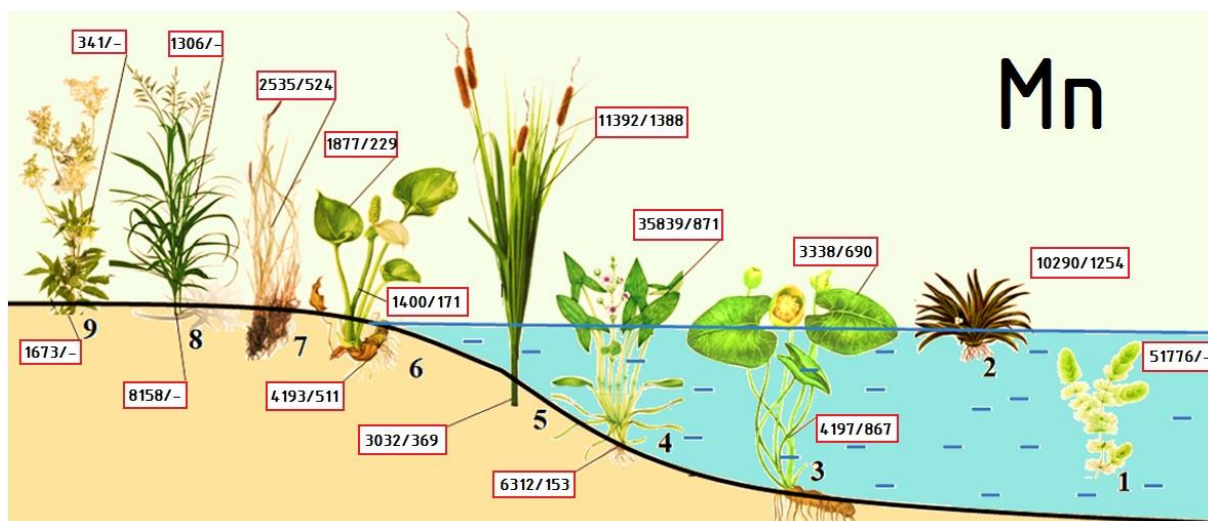


Рисунок 2 – Значения фактора биоконцентрирования марганца для различных видов прибрежно-водной растительности

Вывод

У рассматриваемых видов растений во всех органах, кроме таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria* L.) и стеблей белокрыльника болотного (*Calla palustris* L.), выявлены высокие значения накопления марганца и железа. Концентрация Zn, Cu, Mn и Fe в органах стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.) и рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.) превышает их концентрацию в водной среде до пяти порядков, что указывает на высокую

способности этих видов растений к аккумуляции данных металлов. Кроме того, у роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.) наблюдается превышение содержания марганца на пять порядков по сравнению с его содержанием в водной среде. Таким образом, обнаруженные высокие значения аккумуляционной способности исследованных видов прибрежно-водной растительности позволяют рекомендовать их использование в процессе фиторемедиации водных объектов.

Библиографический список

1. Yadav M., Singh G., Jadeja R.N. Phytoremediation for heavy metal removal // *Pollutants and Water Management*. Wiley, 2021. P. 128–150. DOI: 10.1002/9781119693635.ch6.
2. Kumar Verma R. et al. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: Current advances as well as emerging trends // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. Vol. 12, No 4. P. 5486–5509. DOI: 10.33263/BRIAC124.54865509.
3. Saeed T., Sun G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 112. P. 429–448. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.08.011.
4. Opitz J. et al. The role of macrophytes in constructed surface-flow wetlands for mine water treatment: A review // *Mine Water and the Environment*. 2021. Vol. 40, No 3. P. 587–605. DOI: 10.1007/s10230-021-00779-x.
5. Petrov D.S., Yakusheva A.M. Assessment of the input of phosphorus and nitrogen compounds into the gulf of Finland through tributaries of the Neva River within the borders of St. Petersburg // *Journal of Agriculture and Environment*. 2021. Vol. 4, No 20. Article 4. DOI: 10.23649/jae.2021.4.20.4.
6. Jarsjö J. et al. Patterns of soil contamination, erosion and river loading of metals in a gold mining region of northern Mongolia // *Regional Environmental Change*. 2017. Vol. 17, No 7. P. 1991–2005. DOI: 10.1007/S10113-017-1169-6.
7. Matveeva V.A., Petrova T.A., Chukaeva M.A. Molybdenum removal from drainage waters of tailing dumps of Apatit JSC // *Obogashchenie Rud*. 2018. No 2. P. 42–47. DOI: 10.17580/or.2018.02.08.
8. Ali S. et al. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review // *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12, No 5. Article 1927. DOI: 10.3390/su12051927.
9. Murtić S. et al. Phytoaccumulation of heavy metals in native plants growing on soils in the Spreča river

valley, Bosnia and Herzegovina // *Plant, Soil and Environment*. 2021. Vol. 67, No 9. P. 533–540. DOI: 10.17221/253/2021-PSE.

10. Delgado-González C.R. et al. Advances and applications of water phytoremediation: a potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. Article 5215. DOI: 10.3390/ijerph18105215.

11. Sladkovska T. et al. A review of research on the use of selected grass species in removal of heavy metals // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Article 2587. DOI: 10.3390/agronomy12102587.

12. Ширяева О.Ю., Ширяева М.М. Изменение содержания эссенциальных элементов в растениях разных сортов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 90, № 4. С. 93–99. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99.

13. Пухальский Я.В. и др. Динамика роста и аккумуляции тяжелых металлов *Pisum sativum* L., выращенного на загрязненной почве (вегетационный опыт) // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 4. С. 20–27. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp20-27.

14. Costa M.B. et al. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 155. P. 117–124. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.01.062.

References

1. Yadav M., Singh G., Jadeja R.N. Phytoremediation for heavy metal removal // *Pollutants and Water Management*. Wiley, 2021. P. 128–150. DOI: 10.1002/9781119693635.ch6.

2. Kumar Verma R. et al. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: Current advances as well as emerging trends // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. Vol. 12, No 4. P. 5486–5509. DOI: 10.33263/BRIAC124.54865509.

3. Saeed T., Sun G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 112. P. 429–448. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.08.011.

4. Opitz J. et al. The role of macrophytes in constructed surface-flow wetlands for mine water treatment: A review // *Mine Water and the Environment*. 2021. Vol. 40, No 3. P. 587–605. DOI: 10.1007/s10230-021-00779-x.

5. Petrov D.S., Yakusheva A.M. Assessment of the input of phosphorus and nitrogen compounds into the gulf of Finland through tributaries of the Neva River within the borders of St. Petersburg // *Journal of Agriculture and Environment*. 2021. Vol. 4, No 20. Article 4. DOI: 10.23649/jae.2021.4.20.4.

6. Jarsjö J. et al. Patterns of soil contamination, erosion and river loading of metals in a gold mining region of northern Mongolia // *Regional Environmental Change*. 2017. Vol. 17, No 7. P. 1991–2005. DOI: 10.1007/S10113-017-1169-6.

7. Matveeva V.A., Petrova T.A., Chukaeva M.A. Molybdenum removal from drainage waters of tailing dumps of Apatit JSC // *Obogashchenie Rud*. 2018. No 2. P. 42–47. DOI: 10.17580/or.2018.02.08.

8. Ali S. et al. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review // *Sustainability (Switzerland)*. 2020. Vol. 12, No 5. Article 1927. DOI: 10.3390/su12051927.

9. Murtić S. et al. Phytoaccumulation of heavy metals in native plants growing on soils in the Spreča river valley, Bosnia and Herzegovina // *Plant, Soil and Environment*. 2021. Vol. 67, No 9. P. 533–540. DOI: 10.17221/253/2021-PSE.

10. Delgado-González C.R. et al. Advances and applications of water phytoremediation: a potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. Article 5215. DOI: 10.3390/ijerph18105215.

11. Sladkovska T. et al. A review of research on the use of selected grass species in removal of heavy metals // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Article 2587. DOI: 10.3390/agronomy12102587.

12. SHiryaeva O.YU., SHiryaeva M.M. Izmenenie soderzhaniya essencial'nyh elementov v rasteniyah raznyh sortov // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. Т. 90, № 4. С. 93–99. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99.

13. Puhalskij YA.V. i dr. Dinamika rosta i akumul'yacii tyazhelyh metallov *Pisum sativum* L., vyrashchennogo na zagryaznennoj pochve (vegetacionnyj opyt) // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2023. № 4. С. 20–27. DOI: 10.28983/asj.y2023i4pp20-27.

14. Costa M.B. et al. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 155. P. 117–124. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.01.062.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / *Received 04.12.2023*

Одобрена после рецензирования / *Revised 29.01.2024*

Принята к публикации / *Accepted 21.02.2024*

© М.А. Пашкевич, А.Э. Коротаева, Д.С. Петров, 2024

Сведения об авторах

List of Authors

Пашкевич Мария Анатольевна – доктор технических наук, профессор кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Maria Pashkevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geoecology, Empress Catherine II St Petersburg Mining University.

Коротаева Анна Эдуардовна – аспирант кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Anna Korotayeva – Postgraduate Student of the Department of Geoecology, Empress Catherine II St Petersburg Mining University.

Петров Денис Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

Denis Petrov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geoecology, Empress Catherine II St Petersburg Mining University.

Ссылка для цитирования: *Пашкевич М.А., Коротаева А.Э., Петров Д.С.* Закономерности накопления металлов прибрежно-водной растительностью // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 55 - 61. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-55-61.

For citation: *Pashkevich M.A., Korotayeva A.E., Petrov D.S.* Metal accumulation patterns by coastal and aquatic vegetation // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 55 - 61. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-55-61.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ БЫСТРОВОЗВОДИМОГО МОБИЛЬНОГО ЖИЛИЩА

М.В. Коновалова, Э.И. Верещагина

Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, Ростов-на-Дону
344082, Россия, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39
marinamim1748@yandex.ru

Аннотация. Быстровозводимость, мобильность и временный характер проживания являются основными критериями проектирования жилища, предназначенного для условий быстрого реагирования. Однако происхождение домов данного типа уходит во времена зарождения цивилизации и связано, прежде всего, с нуждами человека в зависимости от событий той или иной эпохи. Периодизация развития жилых быстровозводимых домов позволяет проследить изменения в архитектурном образе, конструктивном решении и функциональном назначении быстровозводимого мобильного жилища.

Ключевые слова: быстровозводимое жилище, бытовка, кибитка, мобильное жилище, ретроспективный анализ, типи, юрта.

Abstract. Prefabrication, mobility and temporary residence are the main criteria for designing a dwelling intended for rapid response conditions. However, the origin of houses of this type goes back to the birth of civilization and is associated, first of all, with human needs, depending on the events of a particular era. The periodization of the development of residential prefabricated houses allows us to trace changes in the architectural image, design solution and functional purpose of prefabricated mobile housing.

Key words: prefabricated housing, change house, tent, mobile housing, retrospective analysis, tipi, yurt.

Введение

Согласно статистике Центра мониторинга внутренних перемещений (IDMC) за последние несколько лет значительно увеличилось количество переселенцев – людей, покидающих свои дома или же оставшихся без крова. Причинами тому, в большинстве случаев, становятся нестабильная политическая ситуация и природные катаклизмы. Таким образом формируется спрос на быстровозводимое мобильное жилище для размещения данного типа людей.

Целью исследования является обстоятельное изучение исторического опыта проектирования и эксплуатации жилых сооружений для временного проживания, а также выявление

закономерностей и особенностей, которые могут быть применены для жилища беженцев и пострадавших от чрезвычайных ситуаций в наши дни.

Прототипы сборно-разборных жилых домов

Первые прототипы сборно-разборных жилых домов появились на начальных этапах развития цивилизации и были связаны с кочевым образом жизни народов. Яркими примерами первых прототипов являются куполообразные юрты народов Азии, возводимые в XIV веке. Данные сооружения представляют собой переносные круглые палатки, покрытые и утепленные шкурами или войлоком, которые

традиционно используются в качестве жилища несколькими различными группами кочевников в степях и горах Восточной Азии. Юрта является моделью мироздания, где план ротонды олицетворяет бесконечность и идею Вечного Синего Неба. Конструкция юрты состоит из круглых деревянных стенок, которые имеют осто́в, а верхняя часть состоит из деревянной рейки, создающей конусообразную крышу. Число реек, называемых уни, равно 60, что соответствует годам лунного календаря, используемого монголами. Отверстие в центре крыши, называемое тоно, служит для вывода

дыма из очага и символизирует солнце. Опорный столб соединяет верхнюю и нижнюю части юрты и представляет собой символическую связь между поколениями и временами. Конструкция крыши иногда самонесущая, но в больших юртах могут быть внутренние стойки, поддерживающие верхушку (рисунок 1). В современном урбанизированном мире уникальные достоинства юрты успешно используются в экологическом туризме, культурном досуге, сфере обслуживания и других областях жизнедеятельности человека.

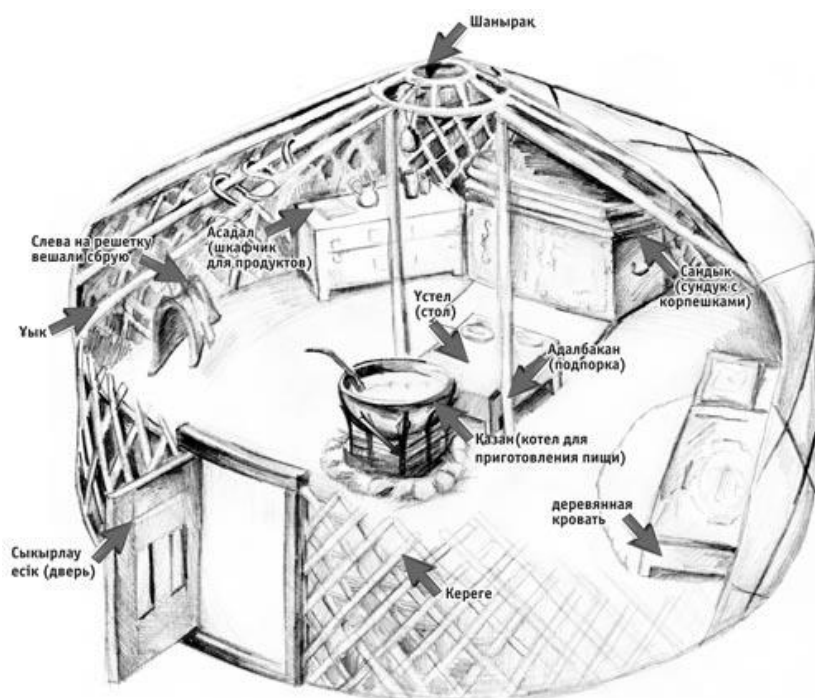


Рисунок 1 –
Конструкция и
внутреннее убранство юрты

В XVII веке активно использовались индейские типы. Это конусообразная палатка, которая может иметь высоту от 4 до 8 м. Изготовление палаток имеет диаметр от 3 до 6 м. Традиционно для изготовления каркаса использовались длинные деревянные шесты. Основным фактором для создания типа являются произрастающие хвойные деревья, такие как сосна и можжевельник, в зависимости от места обитания племен. Крышка типа, называемая покрывкой, ранее изготавливалась из сыромятной кожи животных, обычно бизонов.

Для изготовления одного типа потребовалось от 10 до 40 шкур животных в зависимости от размера палатки (рисунок 2). Позже для создания типа стал использоваться более лёг-

кий материал – парусина. Так как кожа подвергалась физическим воздействиям из-за животных, которые её повреждали, была изменена конструкция настила типа, комбинированы материалы. Верхняя часть делалась из кожи животных, а нижняя часть – из ткани. Скреплялись материалы при помощи деревянных палочек, а низ был привязан к специальным колышкам, которые вбивались в землю, оставляя небольшую щель для циркуляции воздуха внутри конструкции.

При транспортировке из длинных шестов каркаса формировали волокушу, на которой компактно размещался пакет самой покрывки, а также другие предметы быта. Роль типа в культуре индейцев велика. Например, их рас-

положение со входом на восток обусловлено тем, что индейцы желают с наступлением утра встретить новый день.

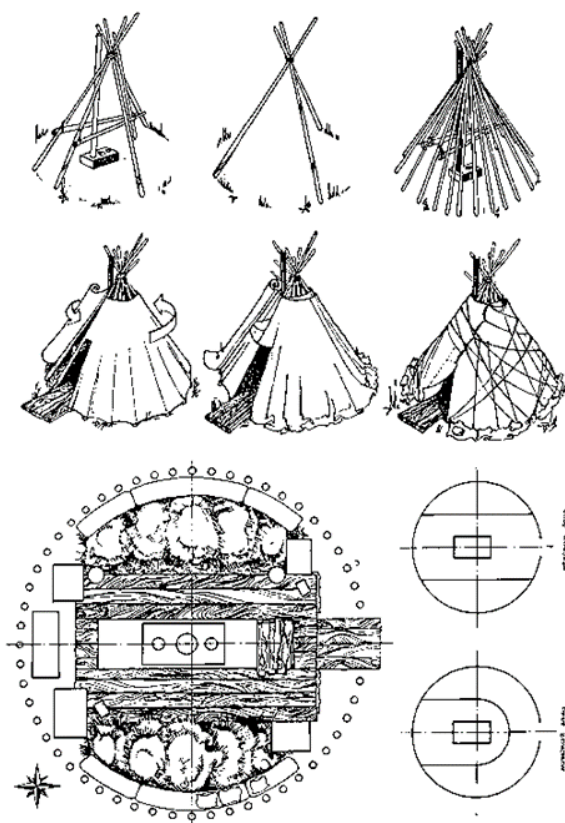


Рисунок 2 – Конструктивное и планировочное решение типа

Форма круга является священным символом для индейцев и имеет большое значение. Он может олицетворять все, начиная с восходящего солнца и заканчивая сезонными миграциями бизонов. Все типы элементов символизируют что-то особенное. Например, пол типа символизирует землю, которая может служить алтарем. Стены представляют собой небо, а шесты, служащие каркасом, являются тропинками, ведущими от земли к мировой духовности.

Разные по форме, но схожие по конструкции, юрты и типы состояли из облегченных конструкций каркасного типа, преимущественно, из древесины в связи с ограниченными возможностями перевозки, покрытых шерстяным материалом или кожей животных. Транспортировку в разобранном виде в доколониальную эпоху осуществляли вручную. Также

стоит отметить, что конструкция и оформленние жилища в те времена характеризовали культуру того или иного народа, являлись не только укрытием, но и символом духовности проживающих в них людей.

Более модернизированную версию схожей покрытой каркасной конструкции использовали цыгане, устранив неудобство ручной транспортировки. Объем жилого дома поставлен на колеса, тем самым, исключая необходимость разбирать и собирать его при перемещении на новое место. Вардо включает в себя большие колеса (чаще задние колеса больше передних) и тент из холста, который натягивается на изогнутую деревянную раму. В качестве модернизированной версии тентовой конструкции принято считать полностью деревянную (рисунок 3).

К середине 1800-х годов конструкция цыганской кибитки была почти полностью стандартизирована: к примеру, дверь почти всегда начали делать в передней части фургона. Транспортировка осуществлялась главным образом с помощью впрягаемых в повозку лошадей. Интерьер цыганского фургона, как правило, оснащен встроенными сиденьями, шкафами, полкой-нарами для сна в задней части фургона, комодом и застекленным трюмо. Цыгане часто ярко и причудливо разрисовывали свои кибитки орнаментами, цветами, встречались изображения животных, нередко – инкрустация. Важнейшим качеством кибитки считалась ее светонепроницаемость.

Промышленное освоение быстровозводимого жилья

С началом XX века в строительстве сборно-разборных жилых домов начинают активно применять технологичные промышленные материалы, такие как стальной лист. Особой популярностью пользовалась модель жилого дома полуцилиндрической формы *Nissen Hut*. Питер Ниссен разработал эти сооружения в 1916 году, чтобы предоставить быстрые и легкие жилища для военных, которые также нуждались во временном укрытии. Целью было создать быстро и экономно собираемые на передовой линии перед боевыми действиями щиты.

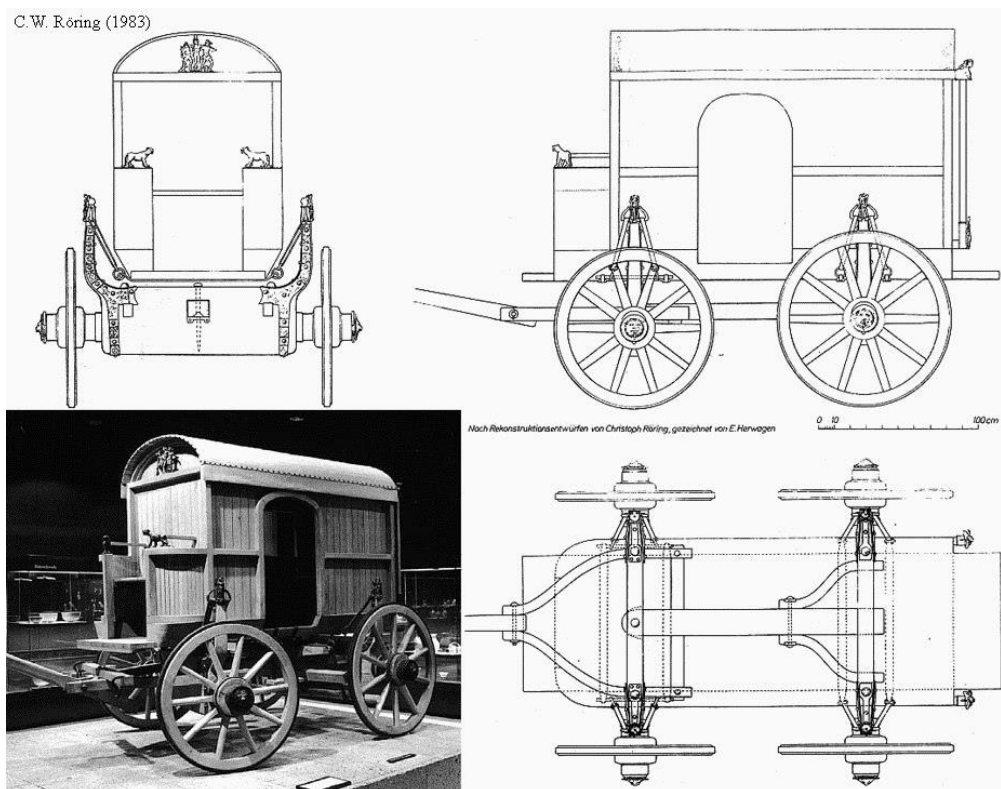


Рисунок 3 – Модель деревянной цыганской кибитки

Конструкции доставлялись непосредственно на место строительства уже при помощи грузовых автомобилей и собирались на месте. Сборно-разборная конструкция дома позволяла составным элементам компактно храниться.

Nissen Hut имел характерную полукруглую форму, которая приводила к улучшенной устойчивости сооружения к нагрузкам ветра и снега. Он состоял из двух слоев стальной перфорированной плиты. Стальные листы соединялись вместе и закреплялись болтами на бетонном основании, чтобы обеспечить устойчивость и прочность. Крыша *Nissen Hut* имела форму шатра. Это обеспечивало не только защиту от внешних факторов, но и улучшенное распределение нагрузки на крышу.

Вход в *Nissen Hut* обычно имел двери на обоих концах, чтобы обеспечить удобство доступа и оборудование различных помещений (рисунок 4). Внутренняя часть сооружения могла быть разделена на отдельные комнаты или использоваться в качестве открытого пространства в соответствии с потребностями. Со временем концепция *Nissen Hut* была адаптирована и использовалась в различных ситуа-

циях, включая жилища для гражданских лиц и военных в разных странах. *Nissen Hut* также служил основой для разработки других типов жилищ, таких как бараки и военные столовые.

Впоследствии появилась более усовершенствованная модель – *Quonset Hut*, которая представляла собой полноценный комфортный дом для нескольких человек с окнами, дверьми и соответствующим утеплением. Однако по форме по-прежнему напоминающий своего предшественника.

Во второй половине XX века появляется тенденция сборки жилых модулей в заводских условиях и транспортировка на место установки уже в готовом виде, что еще больше сократило сроки возведения жилища в ситуациях необходимости быстрого реагирования.

Характерным примером являются металлические бытовки времен СССР. Бытовки стали серьезной альтернативой традиционному жилью и использовались в условиях строительства и быстрого развертывания базовых объектов жизнеобеспечения. Они были просты в монтаже и размещении, а также легко транспортировались. Конструктивные особенности бытовок СССР включали применение

металлической рамы, обшивку из листового железа и утепление стен и крыши минеральной ватой или пенопластом. Они были оснащены окнами, дверями, электричеством и отоплением. Бытовки СССР имели компакт-

ные размеры и были различных типов и моделей, включая одноэтажные и двухэтажные версии. Их площадь часто составляла около 15-20 кв. м.

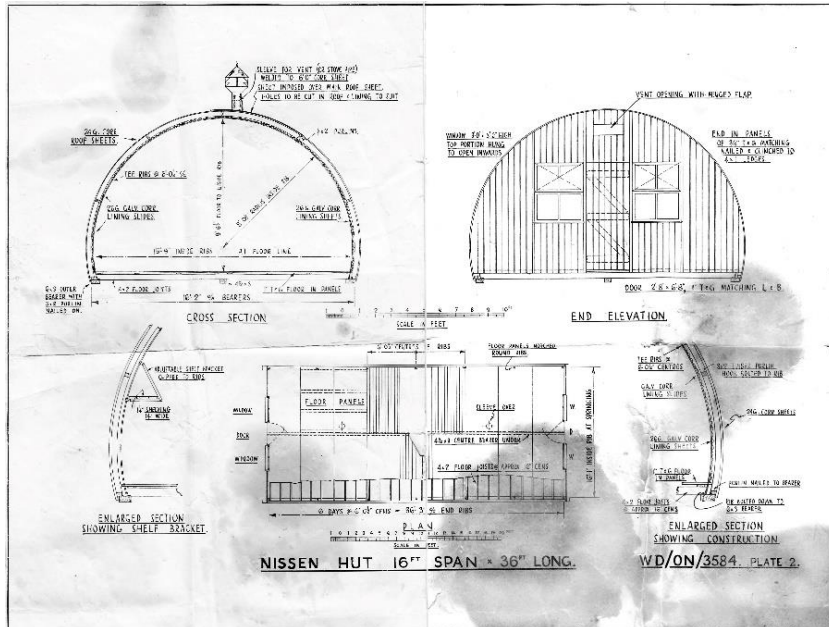


Рисунок 4 – Чертежи Nissen Hut

Производились они, прежде всего, для обеспечения жилищем сотрудников строительной отрасли, работающих вахтовым методом или на месторождениях (рисунок 5). Они использовались также для гостиниц, учебных классов, врачебных пунктов и других социальных объектов.

Подразделялись бытовки на два вида: сборные и цельные. Первые состояли из деревянного или металлического каркаса, обш-

того деревянными щитами или листами профнастила, и собирались на месте возведения. Вторые представляли собой готовый контейнер, доставляемый на место возведения.

Со временем, с улучшением жилищных условий, использование бытовок в СССР сократилось. Однако на сегодняшний день они все еще используются в строительной отрасли и при создании временных поселений во время чрезвычайных ситуаций.

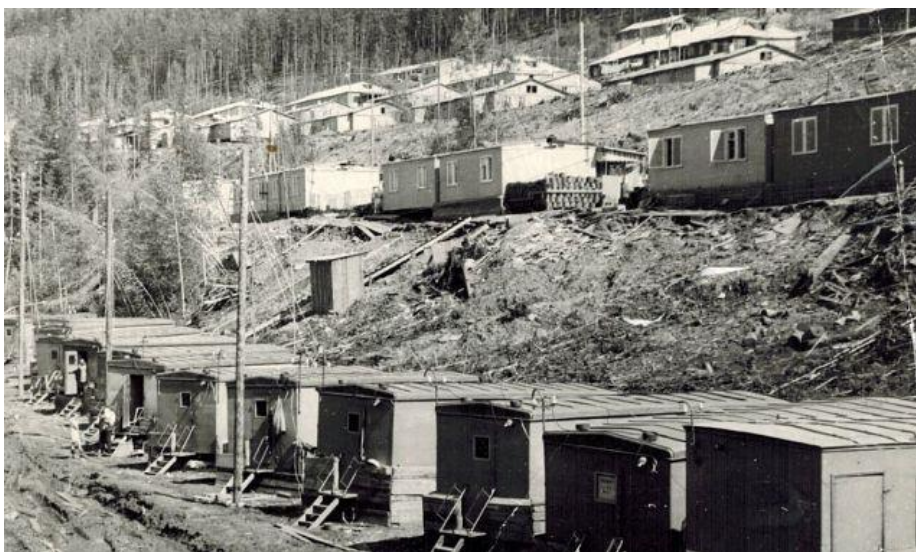


Рисунок 5 – Вахтовое поселение, состоящее из бытовок

Модульное жилище продолжало развиваться, и в 1975 году были выпущены первые цилиндрические унифицированные блоки ЦУБ-2М. В отличие от бытовки ЦУБ-2М состоит из металлического каркаса из гнутого швеллера, обшитого звукопоглощающими плитами. Внутри блока располагались комнаты, санузел и кухня, а также система инженерных коммуникаций (рисунок 6).

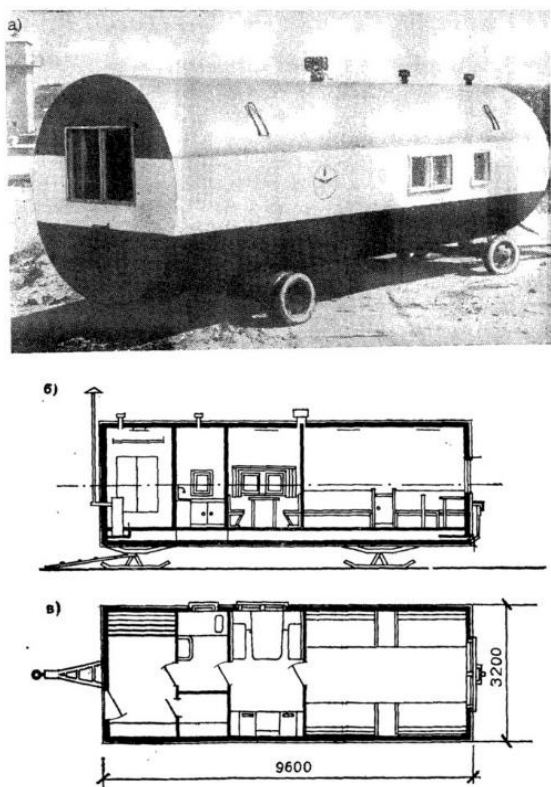


Рисунок 6 – Цилиндрический унифицированный блок. Объемно-планировочное решение

Цилиндрическая форма позволяла лучше использовать пространство внутри блока и экономить материалы при строительстве. Жилой модуль был рассчитан на проживание четверых человек и включал даже минимальный набор мебели. Внутри ЦУБ-2М имелись системы водоснабжения, канализации, электроснабжения, а также отопления и вентиляции. Как и бытовки, ЦУБ-2М предназначены для расселения работников при формировании вахтовых поселков, но уже в более суровых условиях.

Использовались ЦУБы и в армии. Их можно перевозить на полозьях, колёсах или даже транспортировать по воздуху на вертолёте. На месте требовалось только установить и закрепить цистерну. Цилиндрический жилой блок ЦУБ-2М был одним из примеров инновационных решений в советском жилищном строительстве. Этот тип конструкции, благодаря своей мобильности и простоте, получил широкое распространение и был использован в различных регионах СССР для решения жилищных проблем.

Результаты

Проведенный ретроспективный анализ позволил визуально проследить видоизменения, происходящие в конструктивных и образных решениях мобильного быстровозводимого жилища (рисунок 7).

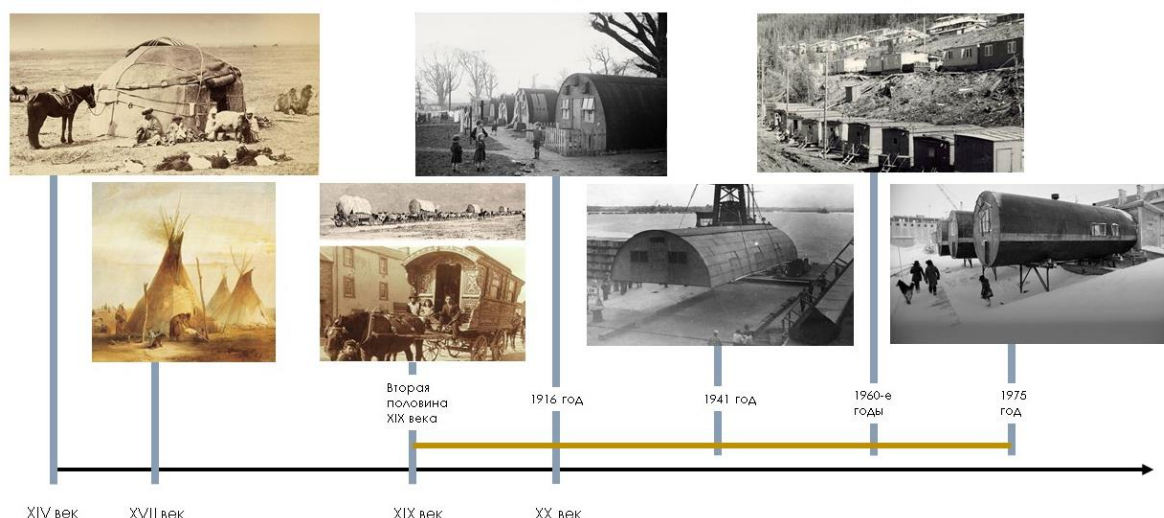


Рисунок 7 – Шкала ретроспективного анализа быстровозводимого мобильного жилища

Основопологающим типом конструктивной системы для домов данного типа является каркасная система с дальнейшей обшивкой утепленным покрытием. Таким методом пользовались как во времена юрт и типи, так и в индустриальные времена. На пути развития и эксплуатации быстровозводимого временного жилища значительно сокращались сроки его возведения и транспортировки.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что вне зависимости от эпохи, временные мобильные жилища остаются актуальными и востребованными, а развитие технологий и материалов позволяют создавать все более технологичные и комфортные жилые дома для людей в условиях необходимости быстрого реагирования.

Библиографический список

1. Аширова М.В. Айдарова Г.Н. Архитектура быстрого реагирования: концепция временного мобильного жилья в условиях чрезвычайных ситуаций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 17-22.
2. Денисова Т.А. Зарубежный опыт возведения мобильных зданий и сооружений в системе комплексов быстрого реагирования в экстремальных ситуациях [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 362. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6635> (дата обращения: 10.09.2023).
3. «ЦУБ» — мобильное жилье в СССР. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dwgformat.ru/2020/02/12/cub-mobilnoe-zhile-v-sssr/> (дата обращения: 10.09.2023).
4. Мелихова К.А. Картина мира в центрально-азиатской юртообразной архитектуре // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. 2017. № 41. С. 159-166.
5. Невероятная история модульных и мобильных зданий – долгий путь из прошлого в будущее [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.vagondoma.com/articles/neveroyatnaya-istoriya-mobilnyih-zdaniy> (дата обращения: 21.11.2023).
6. Применение мобильных зданий в военной сфере в XX веке [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vagondoma.com/articles/primenenie-mobilnyih-zdaniy-v-voennoy-sfere-v-xx-veke> (дата обращения: 20.11.2023).

Referenses

1. Ashirova M.V. Ajdarova G.N. Arhitektura bystrogo reagirovaniya: koncepciya vremennogo mobil'nogo zhil'ya v usloviyah chrezvychajnyh situacij // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 2 (36). S. 17-22.
2. Denisova T.A. Zarubezhnyj opyt vozvedeniya mobil'nyh zdaniy i sooruzhenij v sisteme kompleksov bystrogo reagirovaniya v ekstremal'nyh situacijah [Elektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. № 4. S. 362. Rezhim dostupa: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6635> (data obrashcheniya: 10.09.2023).
3. «CUB» — mobil'noe zhil'e v SSSR. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://dwgformat.ru/2020/02/12/cub-mobilnoe-zhile-v-sssr/> (data obrashcheniya: 10.09.2023).
4. Melihova K.A. Kartina mira v central'no-aziatskoj yurtoobraznoj arhitekture // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i iskusstv. 2017. № 41. S. 159-166.
5. Neveroyatnaya istoriya modul'nyh i mobil'nyh zdaniy – dolgij put' iz proshlogo v budushchee [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <https://www.vagondoma.com/articles/neveroyatnaya-istoriya-mobilnyih-zdaniy> (data obrashcheniya: 21.11.2023).
6. Primenenie mobil'nyh zdaniy v voennoj sfere v XX veke [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.vagondoma.com/articles/primenenie-mobilnyih-zdaniy-v-voennoy-sfere-v-xx-veke> (data obrashcheniya: 20.11.2023).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 18.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 23.01.2024

Принята к публикации / Accepted 03.02.2024

© М.В. Коновалова, Э.И. Верещагина, 2024

Сведения об авторах
List of Authors

Коновалова Марина Викторовна – магистрант Академии архитектуры и искусств Южного федерального университета.

Marina Konovalova – Master's Student at the Academy of Architecture and Arts, Southern Federal University.

Верещагина Эвелина Ивановна – доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Академии архитектуры и искусств Южного федерального университета.

Evelina Vereshchagina – Associate Professor of the Department of Architecture of Residential and Public Buildings of the Academy of Architecture and Arts, Southern Federal University.

Ссылка для цитирования: *Коновалова М.В., Верещагина Э.И.* История развития архитектуры быстровозводимого мобильного жилища // Научные исследования: итоги и перспективы. 2024. Т. 5, № 1. С. 62 - 69. doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-62-69.

For citation: *Konovalova M.V., Vereshchagina E.I.* History of the development of the architecture of prefabricated mobile housing // Scientific researches: results and prospects. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 62 - 69. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2024-5-1-62-69.

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:

2.1. Строительство и архитектура

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения. 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. 2.1.5. Строительные материалы и изделия. 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология. 2.1.7. Технология и организация строительства. 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности.

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь

2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника. 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств. 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники. 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы. 2.2.7. Фотоника. 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры. 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения. 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии. 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 2.2.16. Радиолокация и радионавигация.

2.5. Машиностроение

2.5.3. Трение и износ в машинах. 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы. 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. 2.5.6. Технология машиностроения. 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы. 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия

2.6.4. Обработка металлов давлением. 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы. 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов. 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий. 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности. 2.6.17. Материаловедение.

2.8. Недропользование и горные науки

2.8.1. Технология и техника геологоразведочных работ. 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин. 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр. 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. 2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем.

2.9. Транспортные системы

2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 2.9.4. Управление процессами перевозок. 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта. 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы. 2.9.9. Логистические транспортные системы.

4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. 4.3.3. Пищевые системы. 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2024 № 1 (Том 5)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2024 № 1 (Vol. 5)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.
Компьютерная верстка – Джабуева Ж.И
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 18.03.2024 г. Дата выхода в свет 29.03.2024 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 6,73. Тираж 500. Заказ № 32

Электронная версия журнала
«Научные исследования: итоги и перспективы»
размещена на сайте 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

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 ”