

ISSN 2713-220X

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2021 № 3 (Том 2)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2021 № 3 (Том 2)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ	
<i>Алибеков А.К., Алиев Р.М., Давудов И.А., Курбанов Р.А.</i> Оценка пропускной способности трубопровода с лупингом	3
РАДИОТЕХНИКА, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА	
<i>Парфимович Д.А., Клещёв А.Е., Вахлов М.Г., Долгов И.И.</i> О применении искусственного интеллекта в бортовых системах управления сверхмалыми космическими аппаратами	10
<i>Малкин А.А., Пронин И.А., Карманов А.А.</i> Особенности структурообразования оксида цинка в золь-гель наносистемах под воздействием фотоактивационных процессов	16
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ	
<i>Гаджиев С.М., Гаджиев А.С.</i> Высоковольтная электропроводность и релаксационные процессы в твердых электролитах дигидрофосфатов щелочных металлов	21
ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ	
<i>Даудова Т.Н., Даудова Л.А.</i> Влияние электромагнитного поля на интенсификацию процесса экстрагирования антоцианов из плодов терна и дикой черешни	29
<i>Хамхоев Б.И., Хамхоева З.Х.</i> Исследование и обоснование лежкости картофеля в осенне-зимний период в условиях Ингушетии	36
ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	
<i>Кипер А.В., Рыжов Г.А., Давлюд И.И.</i> Проблема передачи боеприпасов между кораблями в открытом море на ходу траверзным способом	42
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ	
<i>Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю.</i> Особенности модификации поверхности рабочего инструмента при обработке тугоплавких металлов	52
<i>Дмитриев Н.Д.</i> Фундаментальное значение интеллектуальных преобразований для построения циркулярной экономики	63
Правила оформления и представления статей	74

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

Редакционная коллегия:

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)
А.Д. Абакаров, д.т.н., профессор (Махачкала)
Г.М. Абакаров, д.х.н., доцент (Махачкала)
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
А.П. Адамов, 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., доцент (Махачкала)
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., доцент (Махачкала)
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Т.А. Исмаилов, 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. 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)
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)
О.М. Устарханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
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

2021 № 3 (Vol. 2)

CONTENTS

EARTH SCIENCES

Alibekov A.K., Aliev R.M., Davudov I.A., Kurbanov R.A. Assessment of the throughput of a pipeline with looping 3

RADIO ENGINEERING, MICRO- AND NANOELECTRONICS

Parfimovich D.A., Kleshev A.E., Vakhlov M.G., Dolgov I.I. On the use of artificial intelligence in on-board control systems for ultra-small spacecraft 10
Malkin A.A., Pronin I.A., Karmanov A.A. Features of structure formation of zinc oxide in sol-gel nanosystems under the influence of photoactivation processes 16

CHEMICAL TECHNOLOGY

Gadzhiev S.M., Gadzhiev A.S. High-voltage electrical conductivity and relaxation processes in solid electrolytes of dihydrogen phosphates of alkali metals 21

TECHNOLOGIES, PROCESSES AND DEVICES OF FOOD PRODUCTION

Daudova T.N., Daudova L.A. Influence of the electromagnetic field on the intensification of the extraction of anthocyanins from the fruits of thorns and wild cherries 29
Khamkhoev B.I., Khamkhoeva Z.Kh. Study and substantiation of the keeping quality of potatoes in the autumn-winter period in the conditions of Ingushetia 36

TRANSPORTATION-TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Kiper A.V., Rigov G.A., Dawlyud I.I. The problem of transferring ammunition between ships on the high seas on the move by traverse method 42

MECHANICAL ENGINEERING

Rasulov Z.N., Remshev E.Yu. Features of modification of the working tool surface in the processing of refractory metals 52
Dmitriev N.D. The fundamental importance of intellectual transformations for building a circular economy 63

Rules for writing and submitting articles 74

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

Editorial team:

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)
A.D. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
A.P. Adamov, 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, Associate Prof. (Makhachkala)
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)
R.V. Huseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
T.A. Ismailov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
O.M. Ustarkhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.
All materials received by the editors subject to review. The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.
The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.
The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.
The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.
Tel.: +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДА С ЛУПИНГОМ

А.К. Алибеков, Р.М. Алиев, И.А. Давудов, Р.А. Курбанов

*Дагестанский государственный технический университет
Махачкала
ali.dgtu@rambler.ru*

Аннотация. На основе методики расчета длинных трубопроводов при последовательном и параллельном соединении получены аналитические выражения для определения пропускной способности трубопровода с лупингом в конце и оптимальной длины лупинга с учетом зон гидравлического сопротивления. Построены графические зависимости относительного расхода от определяющих параметров.

Abstract. On the basis of the methodology for calculating long pipelines with serial and parallel connections, analytical expressions were obtained to determine the throughput of a pipeline with a looping at the end and the optimal looping length, taking into account the zones of hydraulic resistance. Graphical dependences of the relative flow rate on the defining parameters are built.

Ключевые слова: трубопровод, лупинг, пропускная способность, параллельное соединение трубопроводов, последовательное соединение трубопроводов.

Keywords: pipeline, looping, throughput, parallel connection of pipelines, series connection of pipelines.

Введение

В процессе эксплуатации нефте- и газопроводов возникают ситуации нехватки имеющихся мощностей и возникает необходимость увеличения пропускной способности существующего магистрального трубопровода. Одним из способов решения проблемы является устройство лупинга, представляю-

щего собой трубопровод, присоединяемый к основному и прокладываемый параллельно ему. На стадиях эскизного и технического проектирования представляется удобным наличие аналитической или графической зависимости для оперативной оценки пропускной способности трубопровода с лупингом.

Согласно [1, 2] местоположение лу-

пинга зависит от таких факторов, как местоположение насосных станций, ограничения по напорам и подпорам, экономическая целесообразность, участки с пониженной температурой транспортируемой жидкости и др. Учитывая, что лупинг, расположенный в конце трубопровода, всегда имеет меньшую длину по сравнению с лупингом в начале участка, сооружать лупинг наиболее целесообразно в конце напорного трубопровода.

Цель исследования состояла в получении зависимости для определения пропускной способности длинных трубопроводов с лупингом в конце при переменных значениях основных параметров сети (рисунок 1).

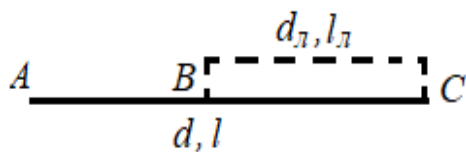


Рисунок 1 – Схема трубопровода с лупингом

Теоретические исследования

Потери напора в случае гидравлически длинных трубопроводов определяются по зависимости [3, 4]:

$$H = s_0/Q^2, \quad (1)$$

где Q – расход жидкости, s_0 – удельное сопротивление,

$$s_0 = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5}, \quad (2)$$

l и d – соответственно длина и диаметр трубопровода AC (рисунок 1), λ – коэффициент гидравлического трения,

Подставим выражение для s_0 в (1):

$$H_{AC} = (l - l_L)(Q_L + Q_{BC})^2 \frac{8\lambda_{AB}}{g\pi^2 d^5} + l_{BC} Q_{BC}^2 \frac{8\lambda_{BC}}{g\pi^2 d^5}. \quad (8)$$

Подставим (7) в (8) и при $l_{BC} = l_L$ получим расход жидкости, протекающей на участке BC :

$$H = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} l Q^2, \quad (3)$$

Полученное уравнение (3) применим к трубам, представленным на рисунке 1, при движении жидкости из точки A в точку C .

В соответствии с (3) потери напора на участке AB протяженностью $l - l_L$ равны:

$$H_{AB} = (l - l_L)(Q_L + Q_{BC})^2 \frac{8\lambda_{AB}}{g\pi^2 d^5}, \quad (4)$$

где l – длина трубопровода AC , λ_{AB} – коэффициент гидравлического трения участка AB , l_L – длина лупинга,

$$0 < l_L \leq l, \quad (5)$$

На участке BC длиной l_{BC} имеем параллельное соединение трубопроводов и поэтому потери напора H_{BC} по основному трубопроводу и лупингу диаметром d_L равны между собой:

$$H_{BC} = l_L Q_L^2 \frac{8\lambda_L}{g\pi^2 d_L^5} = l_{BC} Q_{BC}^2 \frac{8\lambda_{BC}}{g\pi^2 d^5}. \quad (6)$$

где λ_{BC} , λ_L – соответственно коэффициенты трения участка BC и лупинга, Q_L и Q_{BC} – соответственно, расходы жидкости, протекающие по лупингу и основному трубопроводу на участке BC .

Выразим из (6) величину расхода по лупингу длиной $l_L = l_{BC}$:

$$Q_L = Q_{BC} \left(\frac{d_L}{d} \right)^{2.5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_L} \right)^{0.5}. \quad (7)$$

Поскольку участки труб AB и BC соединены последовательно, то для получения потерь напора H_{AC} для всего основного трубопровода AC необходимо сложить потери напора на участках AB и BC :

$$Q_{BC} = \sqrt{\frac{H_{AC} g \pi^2 d^5}{8 \left\{ l_{\text{Л}} \lambda_{BC} + (l - l_{\text{Л}}) \lambda_{AB} \left[1 + \left(\frac{d_{\text{Л}}}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{\text{Л}}} \right)^{0,5} \right]^2 \right\}}}. \quad (9)$$

Суммарный расход по всему трубопроводу с лупингом из (9) с учетом (7):

$$Q_{AC} = Q_{\text{Л}} + Q_{BC} = \left[1 + \left(\frac{d_{\text{Л}}}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{\text{Л}}} \right)^{0,5} \right] \sqrt{\frac{H_{AC} g \pi^2 d^5}{8 \left\{ l_{\text{Л}} \lambda_{BC} + (l - l_{\text{Л}}) \lambda_{AB} \left[1 + \left(\frac{d_{\text{Л}}}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{\text{Л}}} \right)^{0,5} \right]^2 \right\}}}. \quad (10)$$

Полученная зависимость (10) является универсальной в смысле учета большого количества параметров. Однако при практическом ее использовании трудность состоит в определении коэффициентов гидравлического трения λ_{AB} , λ_{BC} , $\lambda_{\text{Л}}$ для различных зон сопротивления, которые зависят от числа Рейнольдса и относительной шероховатости. В задачах поиска пропускной способности (диаметра лупинга) при известных значениях остальных параметров искомая величина в (10) определена неявно и нужно пользоваться одним из способов решения неявных уравнений или вначале нужно задаться квадратичной областью сопротивления с последующей проверкой принятого допущения [3, 4].

Рассмотрим последний способ, учитывая также удобство выполнения расчетов: для обоих участков основного трубопровода и лупинга примем квадратичную область гидравлического сопротивления, для которой коэффициент гидравлического трения зависит только от относительной шероховатости Δ/d материала трубопровода. По формуле Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (11)$$

Подставим (11) в (10) и получим

простые формулы для определения пропускной способности трубопровода с лупингом при квадратичной области гидравлического сопротивления:

$$Q_{AC} = k \sqrt{\frac{H_{AC} g \pi^2 d^{5,25}}{0,88 \Delta^{0,25} [k^2 l - l_{\text{Л}} (k^2 - 1)]}}, \quad (12)$$

$$Q_{BC} = \frac{Q_{AC}}{k}, \quad (13)$$

$$Q_{\text{Л}} = Q_{AC} - Q_{BC} = Q_{AC} \left(1 - \frac{1}{k} \right), \quad (14)$$

где обозначено $k = 1 + \left(\frac{d_{\text{Л}}}{d} \right)^{2,625} \left(\frac{\Delta}{\Delta_{\text{Л}}} \right)^{0,125}$,

Δ , $\Delta_{\text{Л}}$ – соответственно, абсолютные эквивалентные шероховатости основного трубопровода AC и лупинга.

Далее для всех труб находим:

- средние скорости из уравнения сплошности потока $V = 4Q/(\pi d^2)$;

- числа Рейнольдса $Re = Vd/\nu$, где ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

- предельные числа Рейнольдса $Re' = 10d/\Delta$ и $Re'' = 500d/\Delta$.

При сопоставлении Re с предельными числами возможны следующие случаи.

1. При $Re \geq Re''$ ранее принятое допущение о квадратичной области сопротивления справедливо и полученные результаты расчетов по (12) – (14) являются окончательными.

2. В случае $Re' \leq Re < Re''$ имеем докватратичную область сопротивления, поэтому выполненные по (12) – (14) результаты расчетов нужно рассматривать как первое приближение, по ним находим коэффициенты гидравлического сопротивления по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (15)$$

Зная λ_{AB} , λ_{BC} , λ_L по (10), (9) и (7) находим значения расходов на каждой линии, рассматриваем их уже как результаты второго приближения, по которым проверяем область сопротивления. Если подтвердится докватратичная область сопротивления и путем сопоставления расходов жидкости первого и второго приближений окажется, что достигнута требуемая точность (например, 1-3%), то расчеты прекращаются. В противном случае, опираясь на результаты второго приближения, делаем третье приближение и так далее, пока не будет достигнута нужная точность.

3. При $4000 \leq Re < Re'$ имеем зону гидравлически гладких труб, для которой по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (16)$$

Далее поступаем как в п.2.

4. Возможно, что для разных участков основного трубопровода и лупинга будет своя область сопротивления. Тогда коэффициенты λ нужно рассчитать по соответствующим формулам для отдельных зон и далее поступить как в п.2.

Анализ результатов исследования

1. При отсутствии лупинга ($l_L = 0$, $d_L = 0$) из (10) получим исходную формулу (1), что является проверкой правильности полученной зависимости (10).

2. Помимо факторов, определяющих местоположение лупинга, согласно (9) – (16) искомая пропускная способность является функцией 8 параметров: напора H_{AC} , вязкости ν , длин l_L и l , диаметров d_L и d и шероховатостей Δ_L и Δ соответственно лупинга и основного трубопровода. Многофакторность искомой функции подтверждается и результатами расчетов, которые представлены в таблице 1: отношение расхода Q_{AC} по трубопроводу с лупингом к расходу Q_0 по трубопроводу без лупинга ($l_L = 0$ и $d_L = 0$) определяется конкретными значениями параметров. Расчеты выполнены по (12) при $d = 0,4$ м, $H_{AC} = 50$ м, $\Delta = 0,0006$ м, $l = 2000$ м, $\nu = 0,000001$ м²/с, $l_{BC} = l_L$, $d_L/d = 0,3 \dots 1,2$, $l_L/l = 0 \dots 1,0$, $\Delta/\Delta_L = 0,5 \dots 6$.

Таблица 1 – Расчет относительного расхода Q_{AC}/Q_0 трубопровода с лупингом

l_L/l	d_L/d					Δ/Δ_L			
	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2	0,5	1	3	6
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	1,01	1,02	1,06	1,09	1,10	1,08	1,08	1,09	1,09
0,4	1,02	1,04	1,13	1,21	1,25	1,19	1,20	1,21	1,21
0,6	1,03	1,06	1,22	1,39	1,47	1,33	1,35	1,37	1,39
0,8	1,04	1,09	1,34	1,67	1,86	1,55	1,58	1,64	1,67
1,0	1,05	1,11	1,49	2,25	3,02	1,92	2,00	2,15	2,25

Для большей наглядности часть результатов расчетов представлена в графическом виде на рисунках 2 и 3. Согласно таблице 1 и рисунку 2 при $d_{л}/d \leq 0,4$ увеличение относительной пропускной способности трубопровода Q_{AC}/Q_0 происходит по линейному закону с увеличением относительной длины лупинга $l_{л}/l$. При большой длине лупинга ($l_{л}/l > 0,8$) происходит более интенсивное возрастание Q_{AC}/Q_0 .

Поскольку лупинг возводится в случае недостаточности существующих мощностей, то есть не одновременно с основным трубопроводом, то основной трубопровод, как уже бывший в эксплу-

атации, будет иметь отличную, как правило, большую шероховатость по сравнению с новым лупингом. Учет различий в шероховатостях труб по данным таблицы 1 и рисунка 3 приводит к тем большему увеличению Q_{AC}/Q_0 , чем больше различие в шероховатостях – 2,25 раза при максимальной длине лупинга. Однако такой вывод не окончательный, поскольку рисунок 3 построен при $d_{л}/d = 1$ и постоянных значениях указанных выше параметров. При других значениях этих параметров нужно ожидать другую степень изменения многофакторной функции Q_{AC}/Q_0 .

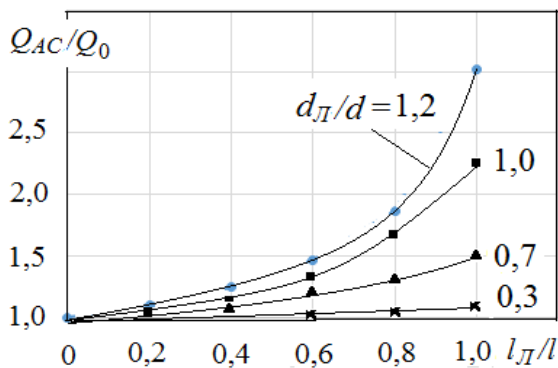


Рисунок 2 – Зависимости $Q_{AC}/Q_0 = f(l_{л}/l, d_{л}/d)$

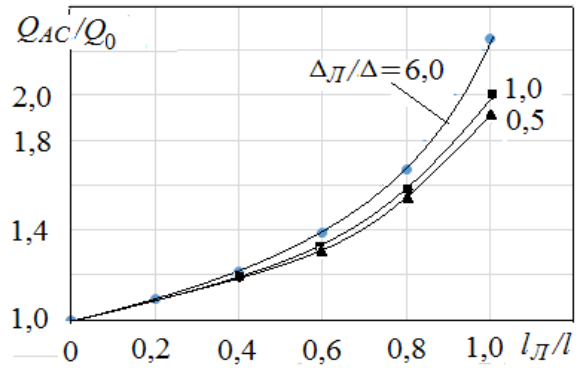


Рисунок 3 – Зависимости $Q_{AC}/Q_0 = f(l_{л}/l, \Delta_{л}/\Delta)$

3. Представляет интерес поиск оптимальной длины лупинга, соответствующей максимальной пропускной способности системы.

$$l_{л}\lambda_{BC} + (l - l_{л})\lambda_{AB} \left[1 + \left(\frac{d_{л}}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{л}} \right)^{0,5} \right]^2 \rightarrow 0 \quad \text{или} \quad l_{л} = \frac{l}{1 - \frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{AB}} \left[1 + \left(\frac{d_{л}}{d} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{BC}}{\lambda_{л}} \right)^{0,5} \right]^2}. \quad (17)$$

В случае квадратичной области сопротивления выражение (17) из (12) будет иметь вид:

Условие $Q_{AC} = \max$ обеспечивается, в частности, при наименьшем значении знаменателя (10):

$$[k^2 l - l_{л}(k^2 - 1)] \rightarrow 0 \quad \text{или} \quad l_{л} = l \frac{k^2}{k^2 - 1}. \quad (18)$$

Учитывая, что $k > 1$, из (18) получится $l_{л} > l$.

В частном случае, когда $d_{л} = d$ и $\Delta = \Delta_{л}$ величина $k = 2$ и оптимальная длина лупинга

$$l_{л} = 4l/3. \quad (19)$$

Если же обязательно нужно учитывать ограничение (5), то при $l_{л} = l$ получим максимальную пропускную способность

$$Q_{AC}^{\max} = 2 \sqrt{\frac{H_{AC}}{s_0 l}}, \quad (20)$$

что означает возможность двойного увеличения пропускной способности системы со помощью устройства лупинга на всю длину трубопровода при $d_{л} = d$, $l_{BC} = l_{л}$ и $\Delta = \Delta_{л}$.

4. Очевидно влияние на Q_{AC} остальных факторов из (10): с ростом H_{AC} , d и уменьшением вязкости жидкости пропускная способность трубопровода с лупингом возрастает.

Заключение

Исходя из методики расчета длинных трубопроводов при последовательном и параллельном соединении в работе получены аналитические (7), (9), (10), (12) - (14) и (20) зависимости для

определения пропускной способности трубопровода с лупингом в конце и отдельных его участков в зависимости от напора, зоны гидравлического сопротивления, эквивалентной шероховатости, диаметра и длины, соответственно, основного трубопровода и лупинга.

На основе расчетов по (12) при $d = 0,4$ м, $H_{AC} = 50$ м, $\Delta = 0,0006$ м, $l = 2000$ м, $\nu = 0,000001$ м²/с, $l_{BC} = l_{л}$, $d_{л}/d = 0,3 \dots 1,2$, $l_{л}/l = 0 \dots 1,0$, $\Delta/\Delta_{л} = 0,5 \dots 6$ построены графики зависимости искомого относительного расхода от относительной длины, диаметра и шероховатости лупинга,

Получены выражения (17) - (19) для оценки оптимальной длины лупинга, соответствующей максимальной пропускной способности трубопровода с лупингом.

Результаты исследования могут быть использованы проектными организациями на стадиях эскизного и технического проектирования и студентами в курсовом и дипломном проектировании.

Библиографический список

1. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Д.Е. Нефтегазовая гидромеханика. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 544 с.
2. Лурье М.В., Астрахан И.М., Кадет В.В. Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве: учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 332 с.
3. Алибеков А.К. Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика: учебное пособие к выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки бакалавров 21.03.01 - Нефтегазовое дело. – Махачкала: ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2020. – 66 с.
4. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 704 с.

References

1. Basniev K.S., Dmitriev N.M., Rozenberg D.E. Neftegazovaya gidromekhanika. – M.-Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 2005. – 544 s.
2. Lur'e M.V., Astrahan I.M., Kadet V.V. Gidravlika i ee prilozheniya v neftegazovom proizvodstve: uchebnoe posobie. – M.: MAKS Press, 2010. – 332 s.

3. Alibekov A.K. *Gidravlika i neftegazovaya gidromekhanika: uchebnoe posobie k vypolneniyu kursovoj raboty dlya studentov napravleniya podgotovki bakalavrov 21.03.01 - Neftegazovoe delo.* – Mahachkala: FGBOU VO «DGTU», 2020. – 66 s.

4. Girgidov A.D. *Mekhanika zhidkosti i gaza (gidravlika): uchebnik.* – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: INFRA-M, 2018. – 704 s.

Статья поступила 06.07.2021 г.

© А.К. Алибеков, Р.М. Алиев, И.А. Давудов, Р.А. Курбанов, 2021

Сведения об авторах
List of Authors

Алибеков Али Казибекович – 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 Business, Daghestan State Technical University.

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

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

Давудов Ибрагим Асхабович – старший преподаватель кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

Ibragim Davudov – Senior Lecturer of the Oil and Gas Department, Daghestan State Technical University.

Курбанов Рашид Алибекович – старший преподаватель кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

Rashid Kurbanov – Senior Lecturer of the Oil and Gas Department, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алибеков А.К., Алиев Р.М., Давудов И.А., Курбанов Р.А.* Оценка пропускной способности трубопровода с лупингом // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 3 – 9.

For citation: *Alibekov A.K., Aliev R.M., Davudov I.A., Kurbanov R.A.* Assessment of the throughput of a pipeline with looping // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 3 - 9 (in Russian).

РАДИОТЕХНИКА, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

УДК 629.78

doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-3-10-15

О ПРИМЕНЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СВЕРХМАЛЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Д.А. Парфимович, А.Е. Клещёв, М.Г. Вахлов, И.И. Долгов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Санкт-Петербург
kleshchev_2015@mail.ru

Аннотация. Показаны схематические решения для современных технологий космического приборостроения, применяемые при разработке бортовых систем управления для сверхмалых космических аппаратов. В качестве перспективных технологий рассмотрены сетевая технология SpaceWire, технология «система на кристалле», нейросеть с глубоким обучением.

Abstract. Schematic solutions for modern technologies of space instrumentation, used in the development of onboard control systems for ultra-small spacecraft, are shown. SpaceWire network technology, system-on-chip technology, deep learning neural network are considered as promising technologies.

Ключевые слова: система на кристалле, программируемая логическая интегральная схема, сверхмалый космический аппарат, бортовая система управления, искусственный интеллект, космическое приборостроение.

Keywords: system-on-chip, programmable logic integrated circuit, ultra-small spacecraft, on-board control system, artificial intelligence, space instrumentation.

Введение

В последнее время широкое распространение получили сверхмалые космические аппараты (КА), но особенно распространены CubeSat с размерами 100x100 мм. Такие спутники позволяют за счёт их низкой стоимости и запуска большими группами (кассетное отстреливание) удешевить вывод их в космическое пространство. Основная

цель запуска таких аппаратов в космос – отработка технологий, испытание новых материалов, покрытий, апробация новых алгоритмов. КА также могут выполнять следующие задачи: обеспечение связи, измерение параметров верхних слоев атмосферы, слежение за объектами в космосе и из космоса, а также дистанционное зондирование Земли [1]. Сверхмалые КА ограничены

по массе, габаритам и энергопотреблению, но в этом кроются и недостатки схем, применяемых при проектировании. Разработчики чаще всего идут по принципу максимального упрощения, что сказывается на надёжности. Это, в свою очередь, нивелируется массовостью запусков, что засоряет космическое пространство. Другим принципом развития сверхмалых КА является замена ненадёжных, вышедших из строя элементов, работоспособными, применение технологий искусственного интеллекта.

Материалы и методы

В общем случае, все подходы обеспечения работоспособности сводятся к следующим системным элементам: система автономной диагностики работоспособности аппаратных элементов; система принятия решения об улучшении общего состояния всей аппаратной составляющей; система программной конфигурации; система структурной реконфигурации.

В настоящее время используют два способа структурной реконфигурации бортовой аппаратуры КА [2]:

- многоуровневая реконфигурация электронной аппаратуры, построенной по технологии программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). ПЛИС, благодаря своей гибкой структуре, позволяют осуществлять оперативную реконфигурацию (перепрошивку) внутренней архитектуры в процессе функционирования;

- динамическая перестройка поля однородной вычислительной системы (ОВС) в процессе решения задач управления КА. ОВС представляет собой регулярную структуру – геометри-

чески правильную решётку, в каждом узле которой находится ячейка, выполняющая простейшие вычислительные и коммутационные функции. В однородной вычислительной системе реализована полная децентрализация управления, преобразования и хранения информации.

Существуют варианты построения архитектуры бортовой системы управления (БСУ), созданные на базе технологии «система на кристалле», также использующие сетевые принципы взаимодействия с бортовой аппаратурой КА. «Система на кристалле» – программируемые логические интегральные схемы, выполненные по технологии *Field-Programmable Gate Array*, в которых в одном кристалле содержится высокопроизводительный процессор в виде *IP*-блока, специализированной области кристалла, выделенной для определённых функций [3]. «Система на кристалле» – это электронная схема, выполняющая функции целого устройства и размещённая в одной интегральной схеме. Такая технология в полной мере отвечает требованиям космического приборостроения. Системообразующими компонентами «системы на кристалле» являются внутрикристалльная шина и процессорное ядро. При выборе процессорного ядра существует некоторая вариативность, поэтому важно соблюдать такие критерии выбора:

- процессор должен быть предназначен для космического применения, то есть иметь архитектуру типа *Radiation Hardening By Design*, которая специально разработана с учетом защиты от ионизирующего излучения космического пространства;

- IP-блок процессора должен быть открытым и свободно распространяемым, так как стоимость БСУ и, соответственно, сверхмалого КА не должна быть высокой.

Существуют варианты построения архитектуры БСУ, созданные на базе технологии «система на кристалле» и использующие сетевые принципы взаимодействия с бортовой аппаратурой КА. Одним из первых проектов построения ОВС с применением технологии «система на кристалле» стал проект *ChipSat*. Однородная вычислительная система содержала две подсистемы: процессорный модуль на базе архитектуры *LEON2* и подсистему телеметрического мониторинга/контроля, разработанную на основе рекомендаций стандартов *CCSDS*. Внутрикристалльная шина – *AMBA*. В качестве интерфейса сопряжения ОВС «система на кристалле» использовался *CAN*. Для вычисления сложных математических функций использовался IP-блок *CORDIC* [3].

Развитие направления «система на кристалле» нашло отражение в следующих проектах *ESA*: *SCOC1*, *SCOC3*. Конечный вариант структурной схемы *SCOC3* содержит 3 подсистемы: процессорную подсистему, подсистему телеметрического мониторинга/контроля, подсистему сбора данных, а также большое количество периферийных интерфейсов для сбора данных. При данной архитектуре «система на кристалле» работает и выполняет требуемые задачи, но для того, чтобы изменить функционал платы, требуется внешнее вмешательство в виде перекоммутации программируемых логических блоков.

Предлагается внедрить в плату софт в виде искусственного интеллекта,

который будет выполнять перекоммутацию при поступлении сигнала, создавая новую архитектуру под новые цели. В настоящее время такую функцию может выполнять только нейросеть с глубоким обучением.

Нейросети моделируют работу человеческого мозга, который состоит из нейронов, постоянно формирующих между собой новые связи. Очень условно можно определить их как сеть с множеством входов и одним выходом. Нейроны образуют слои, через которые последовательно проходит сигнал. Все это соединено нейронными связями – каналами, по которым передаются данные. У каждого канала свой «вес» – параметр, который влияет на передаваемые данные. Искусственный интеллект собирает данные со всех входов, оценивая их вес по заданным параметрам, затем выполняет нужное действие и выдает результат. Сначала он получается случайным, но затем, через множество циклов, становится все более точным. Хорошо обученная нейросеть может полностью изменить цифровую структуру ПЛИС, однако, нейросети с глубоким обучением требуют огромных массивов данных и технических ресурсов.

SpaceWire – это стандарт высокоскоростных линий и сетей для использования на борту космических кораблей [4]. Сеть *SpaceWire* состоит из некоторого числа узлов и маршрутизирующих коммутаторов. Каждый узел имеет хост-устройство, которое может быть инициатором или точкой назначения передачи данных. Хост-устройством может быть процессор, блок памяти, датчик, исполнительное устройство. Каналы связи (линки) представляют собой

средства для передачи пакетов данных от одного узла к другому.

Узлы могут быть непосредственно связаны линками или соединены посредством маршрутизирующих коммутаторов. Они также позволяют адресовать узлы, находящиеся в одной или разных подсетях, посредством региональной логической адресации. Таким образом, с помощью технологии *SpaceWire* можно создавать: структуры из узлов, связанные прямыми линками, без использования маршрутизирующих коммутаторов; локальную вычислительную сеть, узлы которой связаны через маршрутизирующие коммутаторы; вычислительную сеть уровня интранет, объединяющую с помощью маршрутизирующих коммутаторов несколько подсетей.

Последний вариант на сегодняшний день является избыточным для создания бортовой сети КА, особенно малых и сверхмалых. Первый вариант, по сути, нивелирует практически все воз-

можности *SpaceWire* как сетевой технологии. Наибольший интерес вызывает второй вариант, позволяющий создать полноценную сетевую архитектуру взаимодействия бортовой аппаратуры, соответствующую текущим потребностям (рисунок).

Обсуждение результатов моделирования

Общая структура обобщенно представляет *SpaceWire* как некоторую шину, к которой подключается бортовая аппаратура. Сетевая инфраструктура определяет связку двух маршрутизирующих коммутаторов: основного и резервного, к каждому из которых подключен свой полукомплект устройств БСУ – основной и резервный, соответственно. В каждый полукомплект входят: модуль бортового компьютера, реализующий основные вычислительные и управляющие действия на борту КА; модуль низкочастотной части командно-измери-

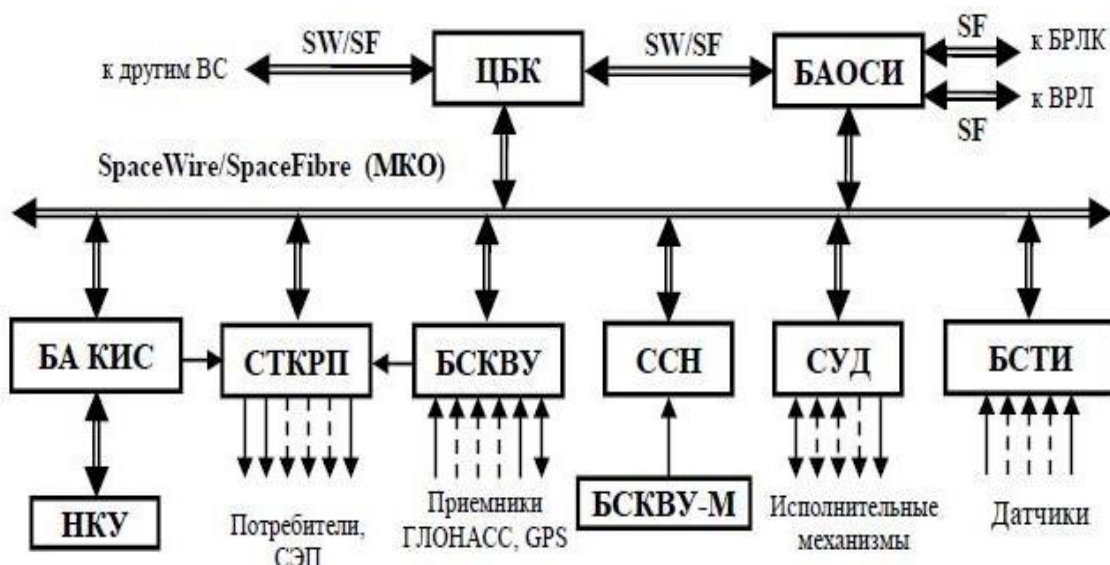


Рисунок – Общая структура бортовой вычислительной среды

Обозначения: центральный бортовой компьютер (ЦБК), бортовая аппаратура обработки сигналов и изображений (БАОСИ), бортовая аппаратура командно-измерительной системы (БАКИС), система трансляции команд и распределения питания (СТКРП), бортовой синхронизирующее координатно-временное устройство (БСКВУ), система спутниковой навигации (ССН), система управления движением (СУД), бортовая система телеметрических измерений (БСТИ)

тельной системы, предназначенный для сбора телеметрических данных от систем КА, преобразования их в телеметрические пакеты и передачи пакетов в высокочастотную часть командно-измерительной системы для последующей отправки по радиоканалу, а также для приема от высокочастотной части командно-измерительной системы команд управления, их дешифрации и передачи по адресуемым системам КА в основном бортовом комплексе.

Для преобразования множества интерфейсов, используемых системами космического аппарата (*UART*, *CAN* и др.), к интерфейсу *SpaceWire* используется специальный модуль. Кроме того он может принимать аналоговые сигналы с датчиков и передавать сигналы на исполнительные устройства. Модуль питания предназначен для стабилизации напряжения, поступающего в бортовой комплекс управления от внешней бортовой питающей сети. На каждой печатной плате располагаются два устройства: основное и резервное.

Таким образом, рассмотренный подход реализует аппаратное резервирование, что для сверхмалого КА типа *CubeSat* неприемлемо ввиду жестких ограничений на массогабаритные пока-

затели. Данная схема реализует резервирование сетевой инфраструктуры, используя 4 маршрутизатора *SpaceWire* и дополнительные каналы связи. При возникновении отказа одного маршрутизатора, сохраняются пути передачи информации и, тем самым, поддерживается работоспособность системы в целом. Однако для сверхмалого КА подобное резервирование сетевой инфраструктуры избыточно, так как оно требует увеличения количества устройств, реализующих резервирование. Но, вследствие малых размеров КА резервирование каналов связи является единственным способом повышения надежности сети.

Заключение

Рассмотренная технология «системы на кристалле» с предустановленным искусственным интеллектом и сетью *SpaceWire* позволяют создавать новые схемные решения бортовых систем управления, адаптирующихся к текущему состоянию КА. Данные технические решения в основном рассчитаны на полноразмерные КА, но, в то же время, часть из них пригодна для разработки бортовых систем управления сверхмалого космического аппарата.

Библиографический список

1. Долгов И.И., Михеев Н.А., Косухин Ю.А. Методы повышения надежности вычислительных модулей космических аппаратов // Молодежь. Техника. Космос: труды XI общероссийской молодежной науч.-техн. конф. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2019. Т. 2. С. 25-26.
2. Демьянов А.В., Долгов И.И., Клещёв А.Е. Сравнительный анализ методов повышения отказоустойчивости вычислительных модулей космических аппаратов // Информационные технологии в цифровом мире: сб. докл. 9-й науч.-техн. шк.-семинара. Санкт-Петербург, 05-06 декабря 2019 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 52-53.
3. Евтушенко Н.И., Немудров В.А., Сырцов И.Г. Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника: наука, технология, бизнес. 2003. № 6. С. 7-11.

4. Шейнин Ю.П., Солохина Т.А., Петричкович Я.В. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2006. № 6. С. 64-74.

References

1. Dolgov I.I., Mikheev N.A., Kosukhin Yu.A. Methods for increasing the reliability of computing modules of spacecraft // Molodezh. Technique. Cosmos: Proceedings of the XI All-Russian Youth Scientific and Technical. conf. - SPb.: BSTU «Voenmekh», 2019. Vol. 2. P. 25-26.

2. Demyanov A.V., Dolgov I.I., Kleshev A.E. Comparative analysis of methods for increasing the fault tolerance of computing modules of spacecraft // Information technologies in the digital world: collection of articles. report 9th scientific and technical school-seminar. St. Petersburg, December 05-06, 2019 St. Petersburg: Publishing house of ETU «LETI», 2019. S. 52-53.

3. Yevtushenko N.I., Nemudrov V.A., Syrtsov I.G. Methodology of designing systems on a chip. Basic principles, methods, software tools// Electronics: science, technology, business. 2003. No. 6. pp.7-11.

4. Sheinin Yu.P., Solokhina T.A., Petrichkovich Ya.V. Technology of space wires for parallel systems and onboard distributed complexes// Electronics: science, technology, business. 2006. No. 6. pp. 64-74.

Статья поступила 17.08.2021 г.

© Д.А. Парфимович, А.Е. Клещёв, М.Г. Вахлов, И.И. Долгов, 2021

Сведения об авторах List of Authors

Парфимович Данил Андреевич – курсант (студент) кафедры приемных устройств и радиоавтоматики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Daniil Parfimovich – Cadet (Student) of the Department of Receiving Devices and Radio Automation, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Клещёв Андрей Евгеньевич – курсант (студент) кафедры приемных устройств и радиоавтоматики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Andrey Kleshchev – Cadet (Student) of the Department of Receiving Devices and Radio Automation, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Вахлов Михаил Григорьевич – преподаватель кафедры приемных устройств и радиоавтоматики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Mikhail Vakhlov – Lecturer of the Department of Receiving Devices and Radio Automation, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Долгов Илья Игоревич – начальник 373 лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Ilya Dolgov – Head of the 373 Laboratory, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Ссылка для цитирования: *Парфимович Д.А., Клещёв А.Е., Вахлов М.Г., Долгов И.И.* О применении искусственного интеллекта в бортовых системах управления сверхмалыми космическими аппаратами // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 10-15.

For citation: *Parfimovich D.A., Kleshchev A.E., Vakhlov M.G., Dolgov I.I.* On the use of artificial intelligence in on-board control systems for ultra-small spacecraft // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 10-15 (in Russian).

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ОКСИДА ЦИНКА В ЗОЛЬ-ГЕЛЬ НАНОСИСТЕМАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФОТОАКТИВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Малкин, И.А. Пронин, А.А. Карманов

Пензенский государственный университет

Пенза

alexander76577@yandex.ru

Аннотация. В статье исследованы особенности структурообразования оксида цинка в золь-гель наносистемах под действием излучения ультрафиолетового диапазона длин волн. С использованием инфракрасной спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показано, что под действием фотоактивационных процессов происходит удаление растворителя из структуры пленки оксида цинка, образование связей Zn-O, а также достройка и обогащение поверхности кислородом.

Abstract. The article investigates the features of the structure formation of zinc oxide in sol-gel nanosystems under the influence of radiation in the ultraviolet wavelength range. Using infrared spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy, it was shown that under the action of photoactivation processes, the solvent is removed from the structure of the zinc oxide film, the formation of Zn-O bonds, as well as the completion and enrichment of the surface with oxygen.

Ключевые слова: золь-гель технология, УФ-фотоотжиг, оксид цинка, наноструктурированные пленки, РФЭС, ИК-спектроскопия.

Keywords: sol-gel technology, UV photoannealing, zinc oxide, nanostructured films, XPS, IR spectroscopy.

Введение и постановка задачи

В настоящее время все более широкое распространение получают различные электронные устройства, изготавливаемые на гибких подложках. Перспективность оксида цинка для целей гибкой электроники обусловлена как его возможными практическими приложениями, включая создание носимых сенсоров [1, 2] и изогнутых дисплеев с новым форм-фактором [3], так и ресурсом управления его характери-

стиками, такими как электропроводность, за счет перестройки внутренней структуры и модификации поверхности [4]. При этом основным сдерживающим фактором, ограничивающим использование ZnO в гибких электронных приложениях, является технологическая сложность его синтеза без использования операции высокотемпературного отжига. В связи с этим была предложена адаптация золь-гель технологии наноструктурированного ZnO, ключевой

идеей которой является замена этапа высокотемпературного отжига операцией параллельного совмещения низкотемпературного нагрева и фотоотжига под действием излучения ультрафиолетового диапазона длин волн [5, 6]. При этом, несмотря на реализуемость данного подхода, вне рамок исследований остался целый ряд вопросов, связанных с особенностями структурообразования ZnO и модификацией его поверхности под действием ультрафиолетового (УФ) излучения.

Материалы и методы

В рамках настоящей работы с использованием ИК-спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) исследованы особенности структурообразования оксида цинка в золь-гель наносистемах под действи-

ем фотоактивационных процессов. Синтез оксида цинка проводился согласно описанной в работе [5] методике, при этом на последнем этапе синтеза проводились операция УФ-фотоотжига в течение 60-150 минут в воздушной среде, которую совмещали с низкотемпературным нагревом (60-100 °С). В качестве источника УФ-излучения использовалась ртутная лампа с максимумами спектральной интенсивности при 185 и 254 нм, а для низкотемпературной обработки образцов применялся плоский нагреватель открытого типа с металлической поверхностью.

Результаты обзорной спектроскопии оксида цинка, синтезированного в рамках адаптированной для целей гибкой электроники золь-гель технологии, представлены на рисунке 1.

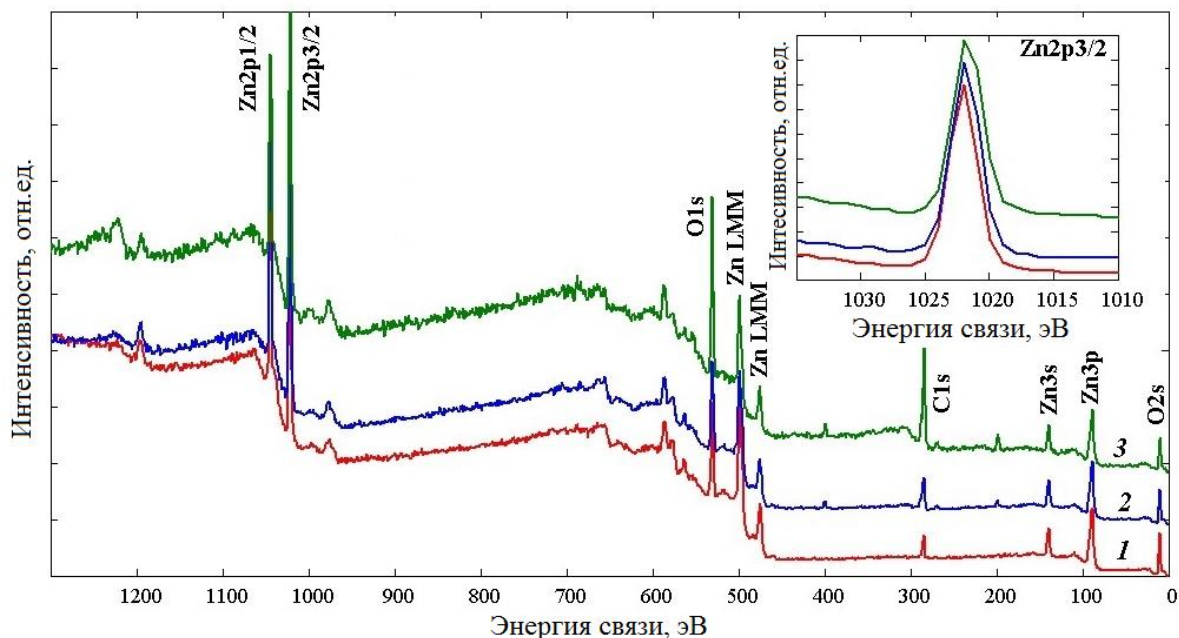


Рисунок 1 – Обзорные РФЭС спектры ZnO

Кривая 1 на рисунке 1 отвечает образцу сравнения (ZnO , синтезируемому с использованием этапа высокотемпературного отжига), кривые 2 и 3 отве-

чают пленкам, полученным в соответствии с описанной методикой при времени УФ-обработки 90 минут и 150 минут соответственно. В целом представ-

ленные спектры содержат характеристические пики для основных уровней цинка, углерода и кислорода, а также Оже пики, такие как *Zn LMM*. При этом присутствие пика *C1s* в спектре можно объяснить как остаточным содержанием не полностью удаленных в процессе отжига органических компонентов из состава золя, так и взаимодействием пленки с атмосферой. Сигналы атомов подложки неразличимы на спектрах, что

отражает отсутствие сквозных пор в наноматериале.

В соответствии с результатами обзорной спектроскопии проводилась оценка содержания цинка, кислорода и углерода в зависимости от времени УФ-обработки до и после очистки поверхности *Ar⁺*. Результаты оценки атомной концентрации элементов, исходя из площадей пиков и факторов чувствительности, представлены в таблице.

Таблица – Атомный состав согласно данным РФЭС для образцов с различным временем воздействия УФ-излучения

Name	Образец № 1, ат. %			Образец № 2, ат. %			Образец № 3, ат. %		
	До тр.	После 1-го тр.	После 2-го тр.	До тр.	После 1-го тр.	После 2-го тр.	До тр.	После 1-го тр.	После 2-го тр.
Zn2p3	34.91	54.85	56.13	29.15	49.15	50.81	13.24	39.62	51.44
O1s	39.18	40.75	40.60	35.69	37.80	31.08	28.22	30.90	23.97
C1s	25.91	4.40	3.27	35.16	13.05	18.11	58.54	29.48	24.59

Обсуждение результатов

Анализ данных показывает, что в процессе воздействия УФ-излучения значительно изменяется соотношение между атомным содержанием цинка и кислорода в поверхностном слое пленок *ZnO*, которое для образца сравнения составляет 0.47:0.53, а для образцов № 2 и № 3 0.45:0.55 и 0.32:0.68 соответственно. Данный факт можно трактовать как обеднение поверхности атомами цинка и/или обогащение атомами кислорода, приводящее к высокой нестехиометричности оксида цинка. При этом после двухэтапной очистки *Ar⁺* соотношение между *Zn* и *O* меняется в сторону преобладания цинка, однако для облученных пленок *Zn* превалирует значительно больше (0.62:0.38 и 0.68:0.32 по сравнению с 0.58:0.42), что не может быть объяснено только де-

сорбцией кислородосодержащих адсорбатов.

Данные ИК-спектроскопии, представленные на рисунке 2 (кривая 1 до операции УФ-фотоотжига, кривая 2 после воздействия УФ-излучения в течение 90 минут), хорошо согласуются и дополняют результаты РФЭС.

Анализ представленных ИК-спектров показывает, что следствием фотоактивационных процессов является конденсация и уплотнение наноструктурированных пленок, о чем можно судить, исходя из практически полного исчезновения пиков поглощения при 940 и 970 см^{-1} , отвечающих *R-COO*-группе ацетата цинка, и возникновения моды при 470 см^{-1} , которая достоверно идентифицируется, как относящаяся к колебаниям связей *Zn-O-Zn*. Об удалении растворителя из структуры пленки

можно судить по уменьшению интенсивности полос поглощения при 740 и 1120 см⁻¹, отвечающих деформацион-

ным *R-O-H* колебаниям и валентным колебаниям *C-O-C* связей, соответственно.

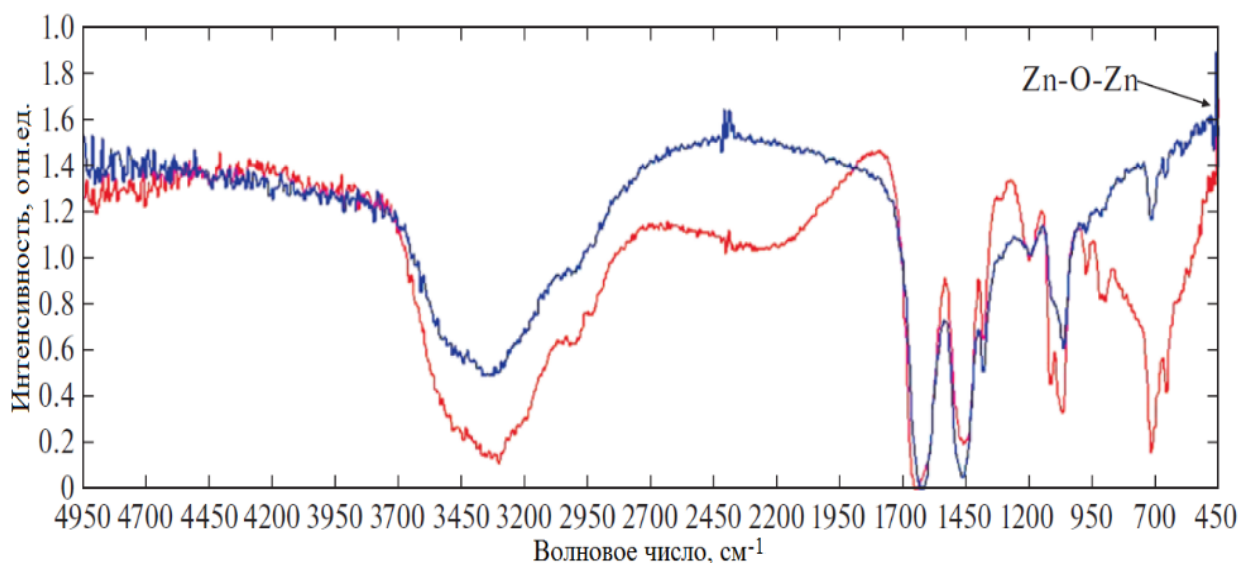


Рисунок 2 – ИК-спектры ZnO

Заключение

В работе рассмотрены особенности структурообразования оксида цинка в золь-гель наносистемах под действием УФ-излучения. На основании данных РФЭС и ИК-спектроскопии показано, что под действием фотоактивационных процессов происходит удаление рас-

творителя из структуры пленки ZnO, ее конденсация и уплотнение, а также достройка и обогащение поверхности кислородом. Полученные результаты могут представлять научный и практический интерес для развития гибкой электроники на основе металлооксидов.

Библиографический список

1. Punetha D., Kar M., Pandey S.K. A new type low-cost, flexible and wearable tertiary nanocomposite sensor for room temperature hydrogen gas sensing // Scientific Reports. 2020. V. 10. P. 2151.
2. Kim J.-W., Porte Y., Ko K.Y., Kim H., Myoung J.-M. Micropatternable Double-Faced ZnO Nanoflowers for Flexible Gas Sensor. // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. V. 9. № 38. P. 32876-32886.
3. Lee S. M. et al. A review of flexible OLEDs toward highly durable unusual displays. // IEEE Transactions on Electron Devices. 2017. V.64. №5. P.1922-1931.
4. Han W., Kim J., Park H. H. Control of electrical conductivity of highly stacked zinc oxide nanocrystals by ultraviolet treatment. // Scientific Reports. 2019. V.9. №.1. P.1-9.
5. Averin I. A., Pronin I.A., Yakushova N.D., Karmanov A.A., Alimova E.A., Igoshina S.E., Moshnikov V.A., Terukov E.I. Sol-Gel Technology Adaptation of Nanostructured Zinc Oxide for Flexible Electronics // Technical Physics. 2019. V.64. №.12. P.1821-1826.
6. Аверин И.А., Карманов А.А., Мошников В.А., Печерская Р.М., Пронин И.А. Особенности синтеза и исследования нанокомпозитных пленок, полученных методом золь-гель-

технологии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2012. № 2. С. 155-162.

References

1. Punetha D., Kar M., Pandey S.K. A new rype low-cost, flexible and wearable tertiary nanocomposite sensor for room temperature hydrogen gas sensing // Scienific Reports. 2020. V. 10. P. 2151.
2. Kim J.-W., Porte Y., Ko K.Y., Kim H., Myoung J.-M. Micropatternable Double-Faced ZnO Nanoflowers for Flexible Gas Sensor. // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. V. 9. № 38. P. 32876-32886.
3. Lee S. M. et al. A review of flexible OLEDs toward highly durable unusual displays. // IEEE Transactions on Electron Devices. 2017. V.64. №.5. P.1922-1931.
4. Han W., Kim J., Park H. H. Control of electrical conductivity of highly stacked zinc oxide nanocrystals by ultraviolet treatment. // Scientific Reports. 2019. V.9. №.1. P.1-9.
5. Averin I. A., Pronin I.A., Yakushova N.D., Karmanov A.A., Alimova E.A., Igoshina S.E., Moshnikov V.A., Terukov E.I. Sol-Gel Technology Adaptation of Nanostructured Zinc Oxide for Flexible Electronics // Technical Physics. 2019. V.64. №.12. P.1821-1826.
6. Averin I.A., Karmanov A.A., Moshnikov V.A., Pecherskaya R.M., Pronin I.A. Features of the synthesis and research of nanocomposite films obtained by the sol-gel technology // Bulletin of higher educational institutions. Volga region. Physics and mathematics. 2012. No. 2. S. 155-162.

Статья поступила 19.06.2021 г.

© А.А. Малкин, И.А. Пронин, А.А. Карманов, 2021

Сведения об авторах List of Authors

Малкин Андрей Александрович – старший преподаватель кафедры физики и микроэлектроники Кыргызско-Российского Славянского университета.

Andrey Malkin – Senior Lecturer of the Department of Physics and Microelectronics, Kyrgyz-Russian Slavic University.

Пронин Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент кафедры нано- и микроэлектроника Пензенского государственного университета.

Igor Pronin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Nano- and Microelectronics, Penza State University.

Карманов Андрей Андреевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры нано- и микроэлектроника Пензенского государственного университета.

Andrey Karmanov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Nano- and Microelectronics, Penza State University.

Ссылка для цитирования: *Малкин А.А., Пронин И.А., Карманов А.А.* Особенности структурообразования оксида цинка в золь-гель наносистемах под воздействием фотоактивационных процессов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 16 - 20.

For citation: *Malkin A.A., Pronin I.A., Karmanov A.A.* Features of structure formation of zinc oxide in sol-gel nanosystems under the influence of photoactivation processes // Scientific researches: results and prospects. 2021.Vol. 2, N. 3. P. 16 – 20 (in Russian).

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ ДИГИДРОФОСФАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

С.М. Гаджиев ¹, А.С. Гаджиев ²

¹Дагестанский государственный университет

²Дагестанский государственный университет народного хозяйства

Махачкала

sindbad43@mail.ru

Аннотация. Исследованы высоковольтная электропроводность и релаксационные процессы в твердых электролитах дигидрофосфатов щелочных металлов. С ростом напряженности электрического поля электропроводность электролитов увеличивается, стремясь к предельному значению. Относительный рост проводимости увеличивается с ростом ионного радиуса катиона щелочного металла. В дигидрофосфате натрия при 360 К он достигает 66 %, а в дигидрофосфате цезия при 533 К – 208 %. С ростом температуры относительное увеличение проводимости увеличивается во всех электролитах. Активированное высоковольтными импульсными разрядами состояние (избыточная проводимость) электролитов сохраняется длительное время. Время релаксации, в основном, имеет порядок 10^4 с. Это время наибольшее у NaH_2PO_4 и при температуре 360 К составляет $2,07 \cdot 10^5$ с.

Abstract. High-voltage electrical conductivity and relaxation processes in solid electrolytes of alkali metal dihydrophosphates have been investigated. With an increase in the strength of the electric field, the electrical conductivity of electrolytes increases, tending to the limiting value. The relative increase in conductivity increases with an increase in the ionic radius of the alkali metal cation. In sodium dehydrogenate phosphate at 360 K, it reaches 66%, and in cesium dehydrogenate phosphate at 533 K - 208%. With increasing temperature, the relative increase in conductivity increases in all electrolytes. The state (excess conductivity) of electrolytes activated by high-voltage impulse discharges remains for a long time. The relaxation time is generally of the order of 10^4 s. This time is the largest for NaH_2PO_4 and at a temperature of 360 K it is $2.07 \cdot 10^5$ s.

Ключевые слова: протонный твердый электролит, фосфаты, высоковольтный импульс, электропроводность, пробой, активация, релаксация.

Keywords: proton firm electrolyte, phosphates, a high-voltage pulse, conductivity, breakdown, activation, a relaxation.

Введение

В последнее время твердые электролиты нашли широкое применение для создания систем преобразования, хранения и передачи информации (химотронные приборы, сенсоры, таймеры, кулонометры, электрохимические датчики, химические источники тока и т.д.). Благодаря селективному транспорту протонов многие протонные твердые электролиты (ПТЭ) уже нашли практическое применение в качестве мембран электрохимических устройств: топливных элементов, водородных насосов и сенсоров, электролизеров для получения водорода, мембранных реакторах (де)гидрирования углеводородов, электрохромных дисплеях [1].

Эффективность их использования (повышение полезных удельных характеристик, снижение энергетических затрат и др.), прежде всего, зависит от величины проводимости применяемых электролитов. Одним из методов повышения проводимости ПТЭ и расплавов является их активация высоковольтными импульсными разрядами (ВИР-активация) [2, 3, 4]. Несмотря на перспективность и актуальность данного направления, проблема влияния сильных электрических полей на поведение ПТЭ изучена недостаточно.

Особенно интересными объектами являются дигидрофосфаты щелочных металлов. Дигидрофосфаты калия, рубидия и цезия благодаря сегнетоэлектрическим и пьезоэлектрическим свойствам используются в качестве электрооптических модуляторов. С их помощью осуществляется быстрый поворот пучка световых лучей под действием электрического тока, и они предпо-

читительнее обычной ячейки Керра. Поэтому представляет интерес изучение характера высоковольтного конденсированного разряда в твердых электролитах дигидрофосфатов щелочных металлов, которые имеют более низкую температуру перехода в высокопроводящую фазу (среднетемпературные ПТЭ) по сравнению с высокотемпературными твердыми электролитами.

Материалы и методы

Настоящая работа посвящена краткому обзору высоковольтного поведения дигидрофосфатов щелочных металлов [3, 4, 5, 6]. Эксперименты проводились по методике, описанной в работах [2, 3]. Известно, что кристаллогидраты щелочных металлов теряют воду при нагревании в вакууме до 100°C. В экспериментах были использованы соли марки ХЧ. Для освобождения от остатков воды соли медленно нагревались в вакууме до 100°C. Сухие и размельченные нанопорошки солей засыпались в специальную прямоугольную или круглую металлическую форму и ставились под пресс под давлением 300 атм. и выдерживались в течение пяти часов. Полученные таким образом твердые электролиты толщиной около 1,5 ÷ 2 мм (в разных экспериментах толщина образца менялась) помещались в специально изготовленную из фторопласта ячейку.

Осциллограммы показывают, что продолжительность импульсов составляет десятки микросекунд, что исключает привнесение в электролит продуктов электролиза и перегрев его в сколько-нибудь заметной степени (рисунок 1).



Рисунок 1 – Характерные осциллограммы напряжения (кривые 1) и тока (кривые 2) высоковольтного разряда в гидрофосфатах щелочных металлов:
а – беспробойный разряд;
б – пробой.

Эксперименты с дигидрофосфатом натрия проводились при температурах 319, 333 и 360 К. Эти температуры значительно меньше температуры разложения соли с образованием пирофосфата натрия (433 К). При температуре 319 К не удается доводить электропроводность соли до насыщения, так как при подаче напряжения амплитудой 1,4 кВ образец пробивался. Характерные осциллограммы беспробойного разряда и пробоя приведены на рисунке 1.

Эксперименты с дигидроортофосфатом калия проводились при температурах 477, 498 и 508 К. Эксперименты с дигидроортофосфатом рубидия проводились при температурах 450, 490, 520, 560 и 600 К (т.е. выше точки Кюри – 418,9 К). Эксперименты с дигидрофосфатом цезия проводились при температурах 493, 513 и 533 К. Полученные результаты зависимости относительного изменения проводимости от напряженности электрического поля на примере RbH_2PO_4 приведены на рисунке 2.

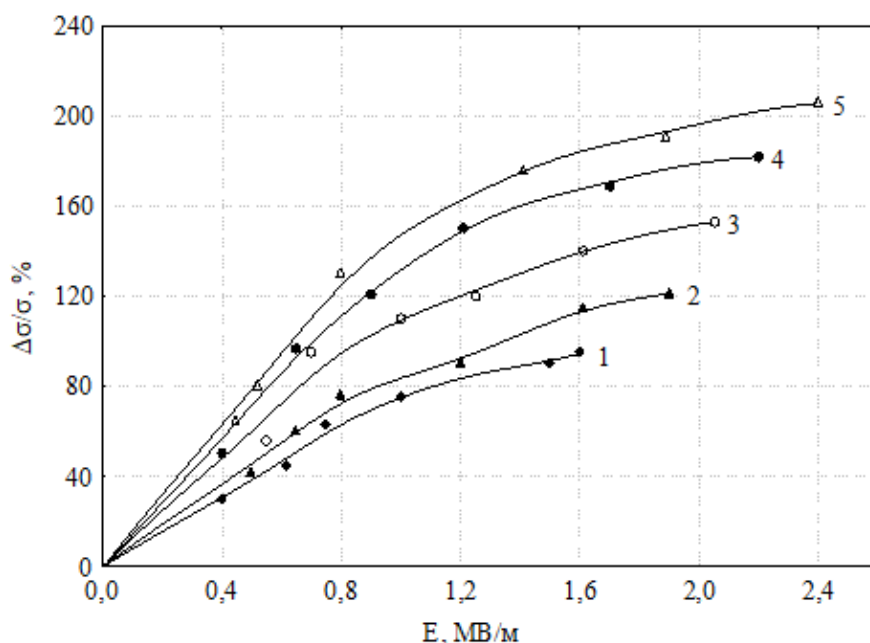


Рисунок 2 – Зависимость относительного изменения проводимости RbH_2PO_4 от напряженности электрического поля при температурах: 1– 450; 2– 490; 3– 520; 4– 560; 5– 600 К.

Полученные значения высоковольтной электропроводности всех изученных дигидрофосфатов щелочных металлов приведены в таблице 1.

Обсуждение результатов

Как видно из рисунка 2 и таблицы 1, с ростом напряженности электрического поля относительный рост проводимости увеличивается и имеет тенденцию к насыщению, с ростом температуры относительное изменение проводимости также увеличивается. Это указывает на то, что энергия активации предельной проводимости больше чем низковольт-

ной, причем, примерно в 1,5 раза. Сравнение данных дигидрофосфатов рубидия и цезия [4, 5] с дигидрофосфатом натрия [3] и калия [6] показывает, что в этом случае у дигидрофосфата рубидия цезия относительный рост проводимости значительно выше. Предельная электропроводность в дигидрофосфате рубидия при исследованных температурах не достигается. Это связано с тем, что в полях, больших, чем указанные на рисунке 3, электролит пробивается. Так, при $T = 520$ К напряженность электрического поля равна 2,1 МВ/м ($U=4,2$ кВ, толщина образца 2 мм).

Таблица 1 – Предельная электропроводность дигидрофосфатов щелочных металлов

ПТЭ	T, К	σ_0 , ms	σ_E , ms	$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_0}$, %	Примечание
NaH ₂ PO ₄	319	3,95	4,76	20,6	Пробой
	333	6,07	8,88	46,3	
	360	5,78	9,62	66,0	
KH ₂ PO ₄	477	9,65	20,46	120	Пробой
	498	10,87	27,39	152,5	
	508	11,98	33,34	178,2	
RbH ₂ PO ₄	450	5,56	10,84	95,3	Пробой
	490	6,25	13,81	121,2	
	520	7,05	17,76	152,9	
	560	7,94	22,39	182,4	
	600	8,68	26,56	206,6	
CsH ₂ PO ₄	493	7,73	17,39	125,4	
	513	8,98	22,90	155,2	
	533	10,16	31,29	208,1	

Наведенная избыточная проводимость (ВИР-активация) в дигидрофосфатов щелочных металлов после импульсных разрядов, как и во всех изученных ранее электролитах, сохраняется длительное время. На рисунке 3 приведены характерные релаксационные кривые в координатах $\ln(\sigma/\sigma_0)$ - время при температуре $T = 520$ К на примере NaH₂PO₄.

Как видно из рисунка 3, наибольшее изменение наведенной избыточной проводимости наблюдается в начальный момент времени после высоковольтных разрядов. Через 2 – 3 минуты релаксационные кривые подчиняются кинетическому уравнению первого порядка $\sigma(t) = \sigma'(0) \exp(-t/\tau)$, где τ - время релаксации, $\sigma'(0)$ – значение

проводимости электролита, экстраполированное к $t = 0$ на линейном участке кривых $\ln(\sigma/\sigma_0) = f(t)$. На линейном участке релаксационных кривых методом наименьших квадратов определено время жизни неравновесных носителей заряда (следует отметить, что на этом

участке релаксационный процесс все же носит колебательный характер с уменьшающейся амплитуды флуктуаций). С точностью до 5,0 % оно не зависело от амплитуды импульсного напряжения, а определялось температурой электролита.

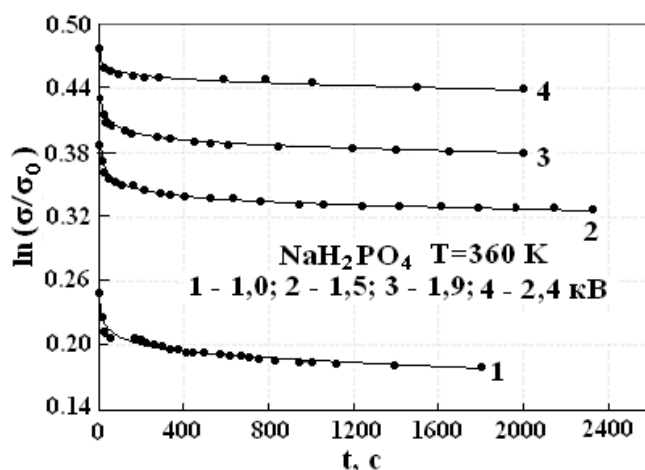


Рисунок 3 – Изменение $\ln(\sigma/\sigma_0)$ во времени после ВИР в дигидрофосфате натрия при 360 К (амплитуды импульсных напряжений указаны на рисунке)

Рассчитанные значения времен релаксации избыточной проводимости всех исследованных электролитов приведены в таблице 2. Необходимо отметить, что при пробое электролита, когда в процесс разряда включается наибольшая доля электронной составляющей проводимости, остаточные явления на-

веденной избыточной проводимости отсутствуют, т.е. система за время порядка 10^{-6} с переходит в равновесное состояние. Это указывает на то, что ВИР-активация становится наиболее выгодной до пробойных явлений в данных электролитах.

Таблица 2 – Время релаксации избыточной проводимости дигидрофосфатов щелочных металлов

Электролит	T, К	$\tau_{cp} \cdot 10^{-5}$, с	δ , %
NaH ₂ PO ₄	333	1,56	5,4
	360	2,07	5,5
KH ₂ PO ₄	477	2,96	4,1
	498	3,43	4,5
	508	4,57	4,9
RbH ₂ PO ₄	450	3,23	4,1
	490	3,67	4,5
	520	4,85	5,0
	560	5,07	5,2
	600	5,26	5,2
CsH ₂ PO ₄	493	3,53	4,3
	513	3,84	4,6
	533	4,96	5,0

Как видно, с ростом температуры время релаксации в дигидрофосфатах щелочных металлов увеличивается. Время релаксации того же порядка, что во всех ранее изученных электролитах [7] кроме дигидрофосфата натрия, в котором это время значительно больше. Уровень активации тем выше, чем выше амплитуда импульсного напряжения. Следует отметить, что активация дигидрофосфатов щелочных металлов происходит в процессе высоковольтного разряда, как и в гидросульфатах щелочных металлов [7]. Сопротивление электролита достигает минимального значения через 20–25 мкс после начала разряда. В то же время в гидросульфатах щелочных металлов минимальное сопротивление в процессе разряда достигается через 0,5–1 мкс. Скорее всего, это связано с сегнетоэлектрическими свойствами дигидрофосфатов щелочных металлов.

В общем случае следует рассматривать следующие возможные пути увеличения проводимости, часть из которых обсуждены в работах [4, 8]:

- 1) пробой электролита;
- 2) появление электронной составляющей проводимости;
- 3) тепловые эффекты, связанные с ВИР;
- 4) выделение щелочного металла или протона на катоде;
- 5) изменение механизма проводимости с дефектного на туннельный (связанное с фазовым переходом);
- 6) разложение электролита;
- 7) увеличение концентрации протонных дефектов;
- 8) рост подвижности носителей заряда.

Заключение

Проведенный подробный анализ причин увеличения проводимости электролитов в сильных электрических полях показал [7, 8], что рост проводимости расплавленных и твердых электролитов при осуществлении высоковольтного импульсного разряда обусловлен как увеличением подвижности ионов, так и ростом их концентрации с сохранением электролитической природы.

При мощном высоковольтном разряде в зависимости от амплитуды напряжения некоторая часть *H*-связей в ПТЭ и ионов разрушается. Дефектность структуры ПТЭ и их расплавов увеличивается за счет появления избыточных носителей тока. В материалах с высокой концентрацией свободных носителей, какими являются ПТЭ и их расплавы, кроме излучательной рекомбинации (свечение) возможен еще один вид рекомбинации – безизлучательная рекомбинация. В этом случае энергия, выделившаяся при «воссоединении» частиц в ассоциированные группировки или восстановления *H*-связей, передается свободному носителю, который разменивает ее на серию фононов. Получив от внешних сильных электрических полей большую энергию, ионы в дальнейшем сами способны бомбардировать соседние группировки, отдавая им часть своей энергии. Через некоторое время активированным (высокий уровень фононов) оказывается весь электролит. Поэтому в начальной стадии наблюдается более интенсивное уменьшение избыточной проводимости по гиперболическому закону.

Уровень активации электролита оказывается тем выше, чем больше сообщенная удельная энергия разряда

(удельная энергия разряда – это энергия разряда, приходящаяся на единицу массы электролита). Одновременно с процессом активации происходит и рекомбинация связей с восстановлением *H*-связей. Чем ближе система походит к энергетически выгодному равновесному состоянию, тем медленнее происходит и рекомбинация, подчиняющаяся уравнению реакции первого порядка.

Из приведенного выше анализа следует, что рост проводимости расплавленных и твердых электролитов при прохождении через них высоковольтных импульсных разрядов обусловлен как увеличением подвижности ионов, так и ростом их концентрации с сохранением электролитической природы.

Библиографический список

1. Багрянцева И.Н. Среднетемпературные протонные проводники на основе смешанных гидросульфатов и дигидрофосфатов щелочных металлов // дисс. к.х.н. Новосибирск. 2014. - 129 с.
2. Гаджиев С.М., Шабанов О.М., Магомедова А.О., Джамалова С.А. Предельные электропроводности и структура расплавленных хлоридов щелочноземельных металлов // Электрохимия. 2003. Т. 39. № 10. С. 1212.
3. Гаджиев С.М., Шабанов О.М., Гаджиев А.С., Алиева С.С., Эфендиева Г.С. Высоковольтная электропроводность и динамика постактивационной релаксации твердых электролитов NaN_2PO_4 и NaH_2PO_4 // Вестник Дагестанского государственного университета. 2013. Вып.1. Естественные науки. С. 17-23.
4. Гаджиев С.М. Высоковольтная электропроводность дигидрофосфата рубидия и ее релаксация // Сб. публикаций «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» научного журнала Chronos. 2019. Вып. 11 (37). С.74-78.
5. Гаджиев С.М. Предельная электропроводность твердого электролита CsH_2PO_4 // Проблемы современной науки. 2016. № 5 (21). С. 73-76.
6. Гаджиев С.М., Шабанов О.М., Гаджиев А.С., Алиева С.С., Эфендиева Г.С. Предельная электропроводность твердого электролита KH_2PO_4 // Вестник Дагестанского государственного университета. 2014. Вып.1. Естественные науки. С.14-22.
7. Шабанов О.М., Гаджиев С.М. Эмиссионные спектры и высоковольтная электропроводность расплавленных солей // Расплавы. 1990. № 2. С. 49-56.
8. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Gadzhiev A.S., Salikhova A.M., Alieva S.S., Efendieva G.S. High-voltage electrical conductivity and its postactivation relaxation in the binary $\text{NaHSO}_4\text{-CSHSO}_4$ system // Russian metallurgy (Metally). 2015. Т. 2015. № 2. P.103-109.

References

1. Bagryantseva I.N. Medium-temperature proton conductors based on mixed hydrosulfates and dihydrogen phosphates of alkali metals // Diss. Ph.D. Novosi-Birsk. 2014 .- 129 p.
2. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Magomedova A.O., Dzhamalova S.A. Limiting electrical conductivity and structure of molten chlorides of alkaline earth metals // Electrochemistry. 2003. T. 39. No. 10.S. 1212.
3. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Gadzhiev A.S., Alieva S.S., Efendieva G.S. High-voltage electrical conductivity and dynamics of post-activation relaxation of solid electrolytes

NaH₂PO₄ and NaH₂P₂O₄ // Bulletin of Dagestan State University. 2013. Issue 1. Natural Sciences. S. 17-23.

4. Gadzhiev S.M. High-voltage electrical conductivity of rubidium dihydrogen phosphate and its relaxation // Coll. publications «Questions of modern science: problems, trends and prospects» of the scientific journal Chronos. 2019. Issue. 11 (37). S.74-78.

5. Gadzhiev S.M. Limiting electrical conductivity of solid electrolyte CsH₂PO₄ // Problems of modern science. 2016. No. 5 (21). S. 73-76.

6. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Gadzhiev A.S., Alieva S.S., Efendieva G.S. Ultimate electrical conductivity of solid electrolyte KH₂PO₄ // Bulletin of the Dagestan State University. 2014. Issue 1. Natural Sciences. Pp. 14-22.

7. Shabanov O.M., Gadzhiev S.M. Emission spectra and high-voltage electrical conductivity of molten salts // Rasplavy. 1990. No. 2. S. 49-56.

8. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Gadzhiev A.S., Salikhova A.M., Alieva S.S., Efendieva G.S. High-voltage electrical conductivity and its postactivation relaxation in the binary NaHSO₄ – CSHSO₄ system // Russian metallurgy (Metally). 2015. Vol. 2015. No. 2. P.103-109.

Статья поступила 23.05.2021 г.
© С.М. Гаджиев, А.С. Гаджиев, 2021

Сведения об авторах
List of Authors

Гаджиев Синдибад Магомедович – доктор химических наук, профессор кафедры общей и теоретической физики Дагестанского государственного университета.

Sindibad Gadzhiev – Doctor of Chemistry, Professor of the Department of General and Theoretical Physics, Daghestan State University.

Гаджиев Амран Синдибадович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Дагестанского государственного университета народного хозяйства.

Amran Gadzhiev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Daghestan State University of National Economy.

Ссылка для цитирования: *Гаджиев С.М., Гаджиев А.С.* Высоковольтная электропроводность и релаксационные процессы в твердых электролитах дигидрофосфатов щелочных металлов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 21 – 28.

For citation: *Gadzhiev S.M., Gadzhiev A.S.* High-voltage electrical conductivity and relaxation processes in solid electrolytes of dihydrogen phosphates of alkali metals // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 21 - 28 (in Russian).

ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 547.97:519.242

doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-3-29-35

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ АНТОЦИАНОВ ИЗ ПЛОДОВ ТЕРНА И ДИКОЙ ЧЕРЕШНИ

Т.Н. Даудова¹, Л.А. Давудова²

¹ Дагестанский государственный технический университет

² Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова

Махачкала

n.nazima@mail.ru

Аннотация. В статье раскрываются свойства и химический состав антоциановых пищевых красителей. Представлены результаты экспериментального исследования процессов экстракции антоцианов из плодов дикорастущих черешни и терна, произрастающих на Северном Кавказе. Показано, что при воздействии электромагнитного поля сверхвысоких частот, выход антоцианов при экстракции удается увеличить для дикой черешни на 22%, а для терна – на 21,6% по сравнению с обычной экстракцией.

Abstract. The article reveals the properties and chemical composition of anthocyanin food colors. The results of an experimental study of the processes of extraction of anthocyanins from fruits of wild cherries and thorns growing in the North Caucasus are presented. It has been shown that when exposed to an electromagnetic field of ultrahigh frequencies, the yield of anthocyanins during extraction can be increased for wild cherries by 22%, and for thorns - by 21.6% compared to conventional extraction.

Ключевые слова: антоциановый краситель, терн, дикая черешня, экстракция, сверхвысокая частота, оптическая плотность.

Keywords: anthocyanin dye, blackthorn, wild cherry, extraction, ultra-high frequency, optical density.

Введение и постановка задачи исследования

Несмотря на то, что синтетические красители, используемые в пищевой

промышленности, обладают высокой красящей способностью и низкой стоимостью, вопрос использования натуральных красителей в настоящее время

все более актуален, что обусловлено тем, что последние, кроме улучшения внешнего вида и цвета, повышают также биологическую ценность изделия. Антоциановые красители, относящиеся к натуральным пищевым красителям, входят в группу флавоноидных соединений и являются сильнейшими антиоксидантами, связывающими свободные радикалы кислорода и препятствующие повреждению клеточных мембран. Антоцианы нормализуют работу иммунной системы, препятствуют размножению раковых клеток, обладают антиканцерогенными, антимикробными и антивирусными свойствами.

Антоцианы – натуральные пищевые красители, они хорошо растворяются в воде и полярных растворителях, плохо растворяются в спирте, не растворяются в неполярных растворителях и относятся к пирилиевым солям. В кислой среде антоцианы способны образовывать соли красного цвета, а в щелочной среде – соли синего цвета. Способность антоцианов к образованию комплек-

сных соединений с металлами также влияет на их цвет. Агликон антоцианин – это основная часть молекулы антоцианов, представляющей собой 2-фенилбензопирилий. При всем их огромном многообразии антоциановые соединения — производные лишь шести основных антоцианидинов: пеларгонидина, цианидина, пеонидина, дельфинидина, петунидина и мальвидина, которые отличаются боковыми радикалами R1 и R2. Все антоциановые соединения имеют C15-углеродный скелет — два бензольных кольца A и B, соединенные C3-фрагментом, который с атомом кислорода образует γ-пироновое кольцо (рисунок 1). Поскольку при биосинтезе пеонидин образуется из цианидина, а петунидин и мальвидин — из дельфинидина, можно выделить три основных антоцианидина: пеларгонидин, цианидин и дельфинидин — это и есть предшественники всех антоциановых соединений.



Рисунок 1 – Базовая структура антоцианидинов и антоцианов. Атомы углерода пронумерованы

На Северном Кавказе произрастает множество дикорастущих растений, которые содержат в своих плодах антоцианы, являющиеся потенциальными источниками антоциановых природных пищевых красителей с широким цвето-

вым диапазоном – от фиолетового до красного. Однако не все дикорастущие растения обладают высокими концентрациями антоцианов, а те, которые насыщены такими соединениями, требуют применения интенсивных техноло-

гий экстракции для их выделения.

В технологии производства пищевых красителей из растительного сырья наиболее важная и продолжительная стадия – процесс экстракции. Авторами ранее проводились экспериментальные исследования процессов экстракции антоцианов из плодов таких растений, как боярышник, терн, барбарис, дикая черешня, калина в целях получения максимального выхода красителя [1, 2, 3]. В исследовании, описываемом в данной статье, ставилась задача оценить возможности интенсификации процессов экстракции под воздействием микроволн разной частоты для плодов терна и дикой черешни. Именно эти источники антоцианов при экстракции могут дать максимальный полезный выход.

Материалы и методы

Приведем сведения об источниках антоциановых красителей, произраста-

ющих на Северном Кавказе.

Терн или слива колючая (*Prunus Spinosa*) является кустарником семейства розоцветных с круглыми, мелкими однокостянками синего цвета, вяжущего терпкого вкуса (рисунок 2) [4]. Листья, плоды, цветки терна содержат антоцианы, дубильные вещества, витамин С и Е, каротины, стероиды, фенолкарбоновые кислоты, высшие алифматические углеводы и спирты, жирные масла (олеиновая, пальмитиновая, элестеариновая, линолевая). Плоды терна используют при расстройствах желудочно-кишечного тракта, колитах, дезинтерии, они обладают также противовоспалительными, антибактериальными и вяжущими свойствами. Ягоды терна обладают свойством впитывать в себя яды из желудка и кишечника человека.

Химический состав ягод терна представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав ягод терна (на 100 г)

Вещества и витамины	Количество
Органические кислоты	2,5 г
Пищевые волокна	2 г
Витамин А	233 мкг
Витамин В ₂	0,05 мг
Витамин Е	0,5 мг
Витамин В ₁	0,04 мг
Витамин РР	0,3 мг
Витамин С	17 мг
Калий	239 мг
Кальций	32 мг
Натрий	14 мг
Фосфор	25 мг
Железо	1,9 мг
Магний	17 мг
Сахар	9,3 мг

Дикая черешня (*Prunus avium*) – крупное дерево семейства розоцветных



Рисунок 2 – Терн, произрастающий на Северном Кавказе

высотой 15-20 м с костянками темно-красного, а иногда и черного цвета [5]. В

Дагестане произрастает сорт «Кавказская» (рисунок 3). Плоды дикой черешни в расчете на 100 г содержат такие элементы, как витамины: С – 7 мг, Е – 0,15 мг, В₁ – 27 мкг, В₂ – 33 мкг, В₃ – 0,15 мг, В₅ – 0,2 мг, В₆ – 49 мкг, фолие-

вая кислота – 4 мкг, А – 3 мкг, К₁ – 2,1 мкг; минеральные вещества: кальций – 13 мг, калий – 0,22 г, магний – 11 мг, цинк – 70 мкг, железо – 0,36 мг, фосфор – 21 мг, медь – 60 мкг, марганец – 70 мкг.



Рисунок 3 – Черешня дикая сорта «Кавказская»

Для экспериментирования использовали свежие плоды дикорастущих терна и черешни. Ранее на основании математической модели, построенной авторами, были установлены оптимальные режимы экстрагирования из сырья красящих веществ раствором этилового спирта, подкисленного 1% лимонной кислотой: для терна получили $k = 289$; $t = 180$ мин; $T = 63^{\circ}\text{C}$; $C = 58\%$, а для дикой черешни – $k = 427$; $t = 137$ мин; $T = 59^{\circ}\text{C}$; $C = 52\%$, где k – отношение масс сырья и экстрагента, t – продолжительность экстрагирования, T – температура, C – концентрация экстрагента [6, 7].

В экспериментах экстракцию проводили в условиях, приближенных к оптимальным. В предварительных опытах

было установлено, что обработка сырья и экстрактов источником энергии СВЧ разной мощности в течение времени нагревания объекта до 50°C не интенсифицирует выход антоцианов. В ходе эксперимента сырье измельчали, заливали экстрагентом (50% водоспиртовым раствором этилового спирта, подкисленного 1% лимонной кислотой) в соотношении 1:9. Полученные образцы облучали в поле СВЧ микроволновой печи «LG Electronics Inc/MH S» (частота 2450 МГц) при максимальной мощности 900 Вт в течение 30, 40 и 50 с. Продолжительность обработки была ограничена температурой экстрактов, которая после облучения не должна превышать 70°C . Затем образцы, помещенные в термостат, экстрагировали при темпе-

ратуре 50°C в течение 2 часов. Определяли степень извлечения антоцианов из исходного сырья, измеряя оптическую плотность экстракта с помощью фотоэлектроколориметра. В качестве

контроля использовали экстракты, полученные по описанной технологии, но без обработки в поле источника энергии сверхвысокой частоты.

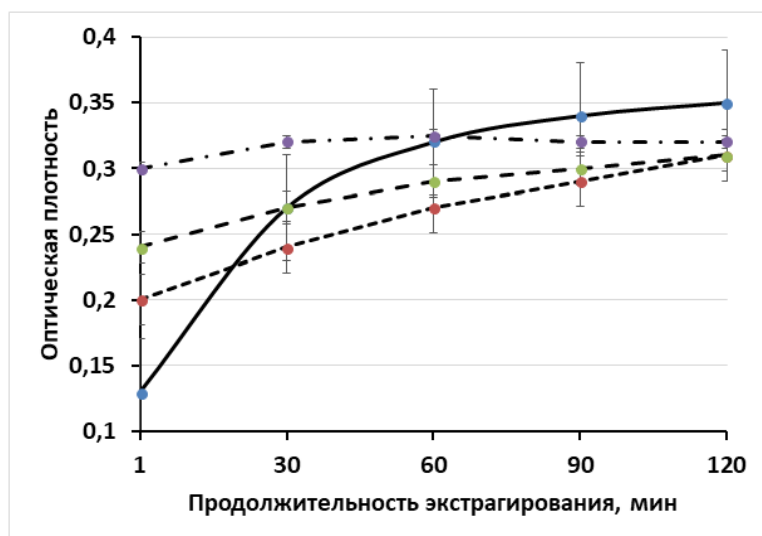
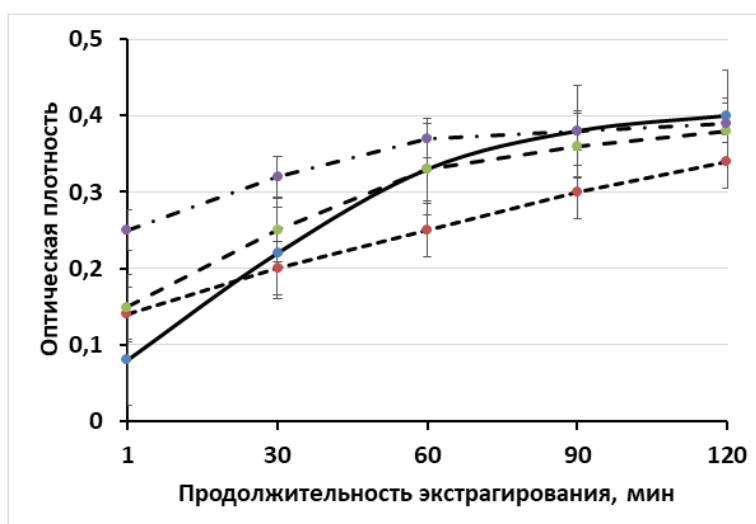


Рисунок 4 – Влияние электромагнитного поля СВЧ на выход антоцианов из плодов дикой черешни (----- обработка в течение 30 с; ---- обработка в течение 40 с; -·-·-· обработка в течение 50 с)

Рисунок 5 – Влияние электромагнитного поля СВЧ на выход антоцианов из плодов терна (----- обработка в течение 30 с; ---- обработка в течение 40 с; -·-·-· обработка в течение 50 с)



Как видно из графиков (рисунки 4 и 5) после обработки плодов терна и дикой черешни в электромагнитном поле СВЧ выход из них красящих веществ за 50 с экстрагирования равен выходу из контрольных образцов за 60 минут экстрагирования. Изучено также влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля на интенсификацию процесса экстрагирования антоцианов из плодов терна и дикой черешни. Сырье измель-

чали и заливали экстрагентом в соотношении 1:9. Затем образцы облучали в специально сконструированной коаксиальной ячейке электромагнитного поля частотой 1667 МГц и удельной мощности 50 мВт/см³. Контрольные образцы не облучали. Далее образцы экстрагировали в термостате в течение 2 часов при 50°C. Полученный экстракт фильтровали и измеряли его оптическую плотность.

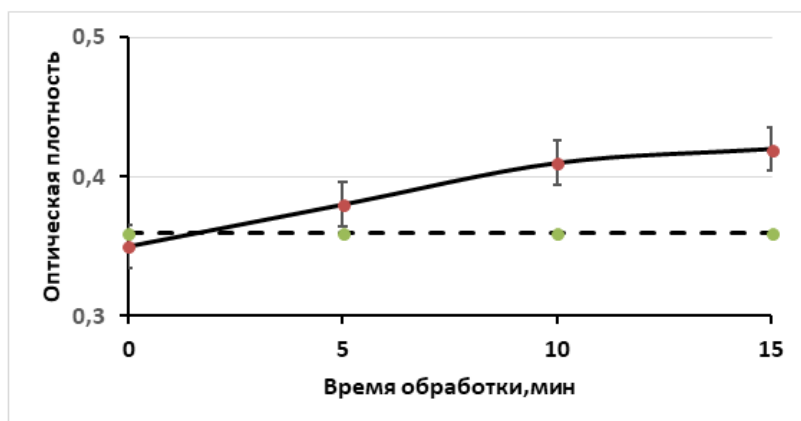
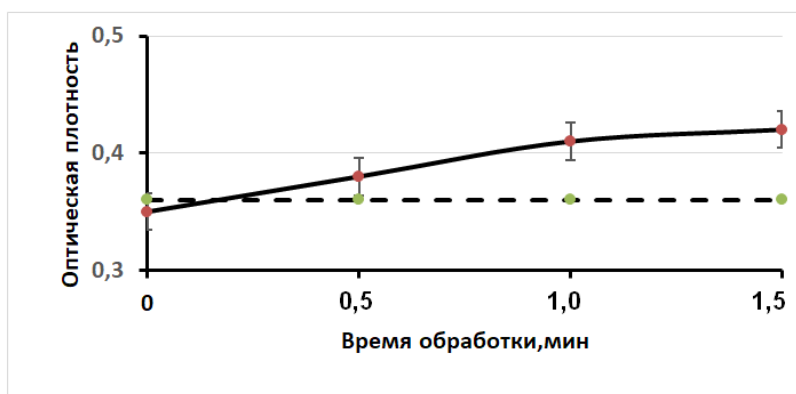


Рисунок 6 – Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля СВЧ на экстрагирование антоцианов из плодов дикой черешни (----- контроль; - - - - облученные образцы)

Рисунок 7 – Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля СВЧ на экстрагирование антоцианов из плодов терна (----- контроль; - - - - облученные образцы)



Выводы

Результаты экспериментов, показанные на рисунках 6 и 7, позволяют сделать вывод о том, что обработка плодов электромагнитным полем увеличивает выход антоцианов как у дикой черешни, так и у плодов терна. Обработка электромагнитным полем СВЧ плодов дикой черешни в течение 15 ми-

нут дает увеличение выхода антоцианов на 22% по сравнению с контролем. У плодов терна максимальное увеличение выхода наблюдается после 1 минуты воздействия и составляет 21,6%. Дальнейшая обработка плодов терна неэффективна, так как не вызывает нарастания выхода, а приводит к разрушению антоцианов в плодах.

Библиографический список

1. Смирнов Е.В., Шатров Г.Н. Пищевые ароматизаторы и красители. Некоторые вопросы законодательства // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. 2002. № 4. С. 8-13.
2. Щербакова С.А. Экстрагирование флавоноидных соединений из амаранта // Пищевая промышленность. 2002. № 3. С. 18-24.
3. Мурадов М.С., Даудова Т.Н., Рамазанова Л.А. Патент РФ 2280659. Способ получения красного пищевого красителя из растительного сырья. 2006. Бюл. № 32. - 3 с.
4. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений. – Киев: Вища школа, 1986. – 287 с.
5. Ноздрачева Р. Черешня. Районированные сорта. Опыт выращивания в Черноземье. – Воронеж: Изд. ВГУ, 2021. – 60 с.
6. Даудова Т.Н., Даудова Л.А., Пиняскин В.В., Зейналова Э.С., Исригова Т.А. Математическое моделирование и оптимизация процесса экстракции антоцианов из плодов ди-

кой черешни // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 4 (36). С. 179-182.

7. Даудова Т.Н., Даудова Л.А., Пиняскин В.В., Зейналова Э.С. Оптимизация процесса экстракции антоцианов из плодов терна // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 4 (36). С. 164-168.

References

1. Smirnov E.V., Shatrov G.N. Food flavors and colors. Some questions of legislation // Food ingredients: raw materials and additives. 2002. No. 4. S. 8-13.

2. Shcherbakova S.A. Extraction of flavonoid compounds from amaranth // Food industry. 2002. No. 3. S. 18-24.

3. Muradov M.S., Daudova T.N., Ramazanova L.A. RF patent 2280659. A method of obtaining a red food coloring from vegetable raw materials. 2006. Bul. No. 32. - 3 p.

4. Petrova V.P. Biochemistry of wild-growing fruit and berry plants. - Kiev: Vishcha school, 1986. -- 287 p.

5. Nozdracheva R. Cherry. Zoned varieties. Growing experience in Chernozem-mye. - Voronezh: Ed. Voronezh State University, 2021. -- 60 p.

6. Daudova T.N., Daudova L.A., Pinyaskin V.V., Zeinalova E.S., Isrigova T.A. Mathematical modeling and optimization of the extraction process of anthocyanins from wild cherry fruits // Problems of the development of the agro-industrial complex of the region. 2019. No. 4 (36). S. 179-182.

7. Daudova T.N., Daudova L.A., Pinyaskin V.V., Zeynalova E.S. Optimization of the extraction process of anthocyanins from thorn fruits // Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2019. No. 4 (36). S. 164-168.

Статья поступила 04.04.2021 г.

© Т.Н. Даудова, Л.А. Даудова, 2021

Сведения об авторе

List of Author

Даудова Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии пищевых производств, общественного питания и товароведения Дагестанского государственного технического университета.

Tatyana Daudova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Production, Public Catering and Commodity Science, Daghestan State Technical University.

Давудова Лайла Абдулмуслимовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры товароведения, технологии продуктов и организации общественного питания Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джембулатова.

Laila Davudova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Food Technology and Organization of Public Catering, Daghestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov.

Ссылка для цитирования: *Даудова Т.Н., Даудова Л.А.* Влияние электромагнитного поля на интенсификацию процесса экстрагирования антоцианов из плодов терна и дикой черешни // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 29 – 35.

For citation: *Daudova T.N., Daudova L.A.* Influence of the electromagnetic field on the intensification of the extraction of anthocyanins from the fruits of thorns and wild cherries // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 29 - 35 (in Russian).

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ЛЕЖКОСТИ КАРТОФЕЛЯ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ ИНГУШЕНТИИ

Б.И. Хамхоев, З.Х. Хамхоева

Ингушский государственный университет

Магас

smusri@mail.ru

Аннотация. В статье проведены исследования зависимости лежкости клубней картофеля от уборочной машины. Практика эксплуатации уборочных машин в Ингушетии показала, что на сохранность клубней при хранении наибольшее влияние оказывают травмы клубней, полученные при уборке уборочной машиной, а именно подкапывающими рабочими органами во время подкапывания и сепараторами во время сепарирования вороха. При экспериментальном исследовании проверено, что повреждения наносятся также комками, глыбами и ударами об рабочие органы сепараторов.

Доказано, что повреждения, полученные при уборке, оказывают наибольшее влияние на лежкость при хранении. Для снижения влияния этого фактора авторами предложен новый прутковый подкапывающий рабочий орган, который при работе снижает количество комков, глыб и вороха, поступающих на элеваторы.

Abstract. The article studies the dependence of the keeping quality of potato tubers on the harvester. The practice of operating the harvesters in Ingushetia has shown that tuber injuries caused during harvesting by the harvester, namely by the digging working bodies during digging and separators during the separation of the heap, have the greatest effect on the safety of tubers during storage. In an experimental study, it was verified that damage is also inflicted by lumps, lumps and impacts on the working bodies of the separators.

It has been proven that damage sustained during harvesting has the greatest impact on keeping quality during storage. To reduce the influence of this factor, the authors have proposed a new rod-type digging working body, which, during operation, reduces the number of lumps, lumps and heaps entering the elevators.

Ключевые слова: уборка, картофель, травмирование клубней, лежкость клубней, сохранность картофеля, технологии уборки картофеля.

Keywords: harvesting, potatoes, injury to tubers, keeping quality of tubers, potato preservation, potato harvesting technologies.

Актуальность и цель исследования

Практика проведения сельскохозяйственных уборочных работ в условиях Юга России показывает, что для уборки картофеля применяют различные картофелекопатели, условия применения которых сильно отличаются. Они могут использоваться на тяжелых почвах, малоконтурных участках, полях с уклоном более 3°. Современные копатели предназначены для подкапывания клубненосной гряды, сепарирования и высыпания вороха с клубнями и растительными примесями вслед за копателем для дальнейшей подборки вручную. Также известно, что тяжелая почва образует крупные агрегаты и травмирует клубни, хуже просеивается. Наибольшее влияние на травмирование, сохранность и лежкость при хранении в осенний и зимний периоды оказывает уборка. Для проведения исследований авторами были заложены эксперименты по двум современным сортам, возделываемым в Ингушетии. Эти сорта районированы и пользуются наибольшим спросом у населения [1].

Цель исследования – определение факторов, влияющих на сохранность и лежкость клубней в осенне-зимний период.



Исследование проблемы и разработка технологии уборки картофеля

Практика возделывания картофеля и исследования, проведенные многими авторами, доказали, что одним из основных факторов, влияющих на сохранность клубней, является их травмирование в период уборки и транспортировки к местам хранения. Основные травмы клубни получают при контактах с рабочими органами уборочной машины, комками, глыбами земли, камнями, а также между собой. Основные виды травм состоят из задигов кожицы, повреждения мякоти и резаные травмы. Клубни с такими повреждениями наиболее склонны к болезням и порче, они же в результате этого хуже хранятся [2].

Авторы разработали технологию, позволяющую значительно снизить травмирование картофеля и, следовательно, повысить лежкость клубней [3]. Данная технология уборки картофеля предусматривает применение пруткового подкапывающего рабочего органа, разработанного и запатентованного авторами в виде полезной модели, показанной на рисунке 1 [4].

Рисунок 1 – Прутковый подкапывающий рабочий орган

Предлагаемый подкапывающий рабочий орган не формирует сдавливающей силы почвы на своей поверхности пиловидной структуры. Появляется возможность пропускать через просветы в момент подкапывания комки и глыбы, тем самым уменьшая количество вороха, передаваемого на сепарирующие рабочие органы [5, 6].

В результате удалось уменьшить общее количество вороха с комками и глыбами. Применение рекомендуемой технологии уборки картофеля с прутковыми подкапывающими рабочими органами способствовало улучшению агрегатного состава почвы: количество комков размерами 2,5...5 см уменьшилось на 23,3 шт/м², частицы почвы размером 5...10 см снизились на 10,0 шт/м², а фракций 10 и более см вообще отсутствовали. Это, в свою очередь, уменьшило травмирование и существенно повысило сохранность клубней при хранении.

Для подтверждения эффективности технологии и разработанного рабочего органа были проведены экспериментальные исследования по лёжкости

картофеля сортов «Джувел» и «Рамона» в условиях Ингушетии.

Согласно плану исследований после сбора картофель двух указанных сортов сорта хранился согласно технологии в сухих, прохладных и темных погребах при оптимальной температуре 2...5 °С. Была создана необходимая естественная вентиляция помещения и относительная влажность воздуха в пределах нормы 80-90 %, в течение 175-190 суток [7]. Аналогичные исследования по другим сортам проводились ранее и описаны в [8].

По результатам проведенных исследований 2019-2020 гг. и применения нового технологического процесса уборки с применением пруткового подкапывающего рабочего органа улучшена лёжкость клубней картофеля исследуемых сортов (таблицы 1 и 2). Процентное содержание здоровых клубней к периоду посадки у исследуемых сортов «Джувел» и «Рамона» составило в опытном варианте 87,2 и 86,4 % соответственно, что на 5,9 и 3,9 % больше, чем при контрольном варианте.

Таблица 1 – Показатели лёжкости картофеля сорта Джувел

Варианты опыта	Здоровые клубни, %	Общие отходы при хранении, %	В том числе, %			
			естественная убыль массы	техническая гниль	абсолютная гниль	ростки
контроль	81,9	19,1	14,7	2,4	3,1	0,3
опыт	87,2	13,4	11,4	1,3	0,8	0,5

Таблица 2 – Показатели лёжкости картофеля сорта Рамона

Варианты опыта	Здоровые клубни, %	Общие отходы при хранении, %	В том числе, %			
			естественная убыль массы	техническая гниль	абсолютная гниль	ростки
контроль	82,4	18,3	12,9	2,6	3,2	0,3
опыт	86,4	14,8	12,1	1,4	1,3	0,4

По результатам исследований у сорта «Джувел» общие отходы в контрольном варианте составили 19,1 %, а у сорта «Рамона» – 18,3 %. В опытном варианте, при использовании нового подкапывающего органа, снижение травмирования клубней положительно повлияло на лёжку клубней у данных сортов, что характеризуется уменьшением естественной убыли массы и количества абсолютной и технической гнили у исследуемых сортов.

В результате проведенных экспериментальных исследований в условиях Ингушетии (рисунок 2) авторам удалось доказать, что применение рекомендуемого нового технологического процесса уборки картофеля с использованием пруткового подкапывающего рабочего органа способствовало лучшей сохранности картофеля сортов «Джувел» и «Рамона» в осенний и зимний периоды.



Рисунок 2 – Полевые эксперименты

Выводы

Доказано, что применение рекомендуемого технологического процесса уборки картофеля с применением пруткового подкапывающего рабочего органа

способствует улучшению структурного состава вороха, что, в свою очередь влияет на снижение травмирования клубней и улучшение лёжки картофеля при хранении. Так, здоровые

клубни сортов «Джувел» и «Рамона» при хранении составили более 5 и 6 % соответственно, общие отходы снизились на 6 и 4%, удалось также добиться снижения суммарного значения технической и абсолютной гнили у сорта «Джувел» на 4%, а у сорта «Рамона» на 3%.

Библиографический список

1. Байбулатов Т.С., Хабибов С.Р., Хамхоев Б.И. Совершенствование технологического процесса уборки картофеля // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 1 (37). С. 15-20.
2. Костенко М.Ю. Повреждаемость клубня картофеля // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов. Ч. 1. - Рязань: Информационные технологии, 1999. - 146 с.
3. Хамхоев Б.И., Байбулатов Т.С. Результаты исследований картофелекопателя в сложных почвенно-климатических условиях // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 1 (37). С. 144-149.
4. Подкапывающий рабочий орган // Патент РФ на полезную модель № 165720. 2016. Бюл. № 31. / Хамхоев Б.И., Левшин А.Г., Хамхоев Ю.И., Ужахов М.И.
5. Полищук С.Ф. Влияние внутренних (скрытых) механических повреждений тканей мякоти на лёжку и семенные качества клубней картофеля: дисс. ... канд. техн. наук. - Киев, 1965.
6. Mitrus J. Mechanizacja uszboowania ziemniakow // Mechanizacja Rolnictwa. 1973. № 2, - S. 24-27.
7. Байбулатов Т.С., Маазов Ш.М. Анализ различных технологий возделывания картофеля // Молодые ученые – вклад в реализацию национального проекта «Развитие АПК»: сборник материалов региональной научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ЮФО. – Махачкала, 2007. С. 304-307.
8. Хамхоев Б.И., Байбулатов Т.С. Повышение сохранности клубней картофеля при хранении // Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 4 (4). С. 112-116.

References

1. Bajbulatov T.S., Habibov S.R., Hamhoyev B.I. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa uborki kartofelya // Problemy razvitiya APK regiona. 2019. № 1 (37). S. 15-20.
2. Kostenko M.YU. Povrezhdaemost' klubnya kartofelya // Sovremennye energo- i resursosberegayushchie, ekologicheski ustojchivye tekhnologii i sistemy sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: sbornik nauchnyh trudov. CH. 1. - Ryazan': Informacionnye tekhnologii, 1999. - 146 s.
3. Hamhoyev B.I., Bajbulatov T.S. Rezul'taty issledovaniy kartofelekopatelya v slozhnyh pochvenno-klimaticheskikh usloviyah // Problemy razvitiya APK regiona. 2019. № 1 (37). S. 144-149.
4. Podkapyvayushchij rabochij organ // Patent RF na poleznuyu model' № 165720. 2016. Byul. № 31. / Hamhoyev B.I., Levshin A.G., Hamhoyev YU.I., Uzhahov M.I.

5. Polishchuk S.F. Vliyanie vnutrennih (skrytyh) mekhanicheskikh povrezhdenij tkanej myakoti na lyozhkost' i semennye kachestva klubnej kartofelya: diss. ... kand. tekhn. nauk. - Kiev, 1965.

6. Mitrus J. Mehanieme usrboolrenia ziemnickow // Mechanizacja Rolnictwa. 1973. № 2, - S. 24-27.

7. Bajbulatov T.S., Maazov SH.M. Analiz razlichnyh tekhnologij vozdeleyvaniya kartofelya // Molodye uchenye – vklad v realizaciyu nacional'nogo proekta «Razvitie APK»: sbornik materialov regional'noj nauchno-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh YUFO. – Mahachkala, 2007. S. 304-307.

8. Hamhoev B.I., Bajbulatov T.S. Povyshenie sohrannosti klubnej kartofelya pri hranenii // Izvestiya Dagestanskogo GAU. 2019. № 4 (4). S. 112-116.

Статья поступила 15.08.2021 г.
© Б.И. Хамхоев. З.Х. Хамхоева, 2021

Сведения об авторах
List of Authors

Хамхоев Батыр Израилович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры механизации сельского хозяйства Ингушского государственного университета.

Batyr Khamkhoev – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Agricultural Mechanization, Ingush State University.

Хамхоева Зинаида Хавашевна – соискатель кафедры механизации сельского хозяйства Ингушского государственного университета.

Zinaida Khamkhoeva – Applicant for the Department of Agricultural Mechanization, Ingush State University.

Ссылка для цитирования: *Хамхоев Б.И., Хамхоева З.Х.* Исследование и обоснование лежкости картофеля в осенне-зимний период в условиях Ингушетии // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 36 – 41.

For citation: *Khamkhoev B.I., Khamkhoeva Z.Kh.* Study and substantiation of the keeping quality of potatoes in the autumn-winter period in the conditions of Ingushetia // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 36 - 41 (in Russian).

ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

.....
.....
.....

УДК 629.122

doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-3-42-51

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧИ БОЕПРИПАСОВ МЕЖДУ КОРАБЛЯМИ В ОТКРЫТОМ МОРЕ НА ХОДУ ТРАВЕРЗНЫМ СПОСОБОМ

А.В. Купер, Г.А. Рыжов, И.И. Давлюд

Филиал Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия»
Калининград
sawefew2@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ способов передачи боеприпасов между кораблями отечественного флота и военно-морскими силами иностранных государств в море при возникающих динамических нагрузках. В связи с опасностью швартовки в открытом море, контактные способы передачи боеприпасов на практике мало используются. Рассмотрены перспективные варианты бесконтактной передачи в море. Отмечены преимущества и недостатки подобных систем, а также особенности работы, технические данные системы «Фаст» Военно-морских сил США, английского универсального транспорта снабжения «Лайнес», канадского транспорта снабжения «Гаррет марин». Все подобные системы имеют двойное назначение: могут применяться как на гражданских судах для передачи различных грузов, так и на военных кораблях для безопасной передачи боеприпасов. Отмечены перспективы контактных и бесконтактных способов передачи боеприпасов в открытом море, при этом бесконтактный способ значительно повышает эксплуатационные показатели боевых кораблей.

Abstract. The analysis of the methods of transferring ammunition between the ships of the domestic fleet and the Naval Forces of foreign states at sea under the arising dynamic loads is carried out. Due to the danger of mooring in the open sea, contact methods of transferring ammunition are little used in practice. Perspective variants of contactless transmission at sea are considered. The advantages and disadvantages of such systems, as well as the features of the work, technical data of the US Navy «Fast» system, the British universal supply transport «Lines», the Canadian supply transport «Garrett Marine» are noted. All such systems have a dual purpose: they can be used both on civil ships for the transfer of various cargoes, and on warships for the safe transfer of ammunition. The prospects for contact and non-contact methods of transferring ammunition in the open sea are noted, while the non-contact method significantly increases the operational performance of warships.

Ключевые слова: передача в море, боеприпас, кран, траверзный способ, бесконтактная передача груза.

Keywords: transfer at sea, ammunition, crane, traverse method, contactless transfer of cargo.

Введение

Передача ракетных и других боеприпасов между кораблями (судами) в открытом море – сложная, опасная и ответственная операция морской практики. Из-за воздействия на корабли волнения, ветра, течений и других факторов такие операции являются особо сложными и относятся к категории неизбежного риска. Существуют два способа приема-передачи боеприпасов – контактный и бесконтактный.

В данное время, в практике Военно-морского флота Российской Федерации (ВМФ РФ) операции приема-передачи боеприпасов в море проводятся, в основном, контактным способом, предусматривающем швартовку кораблей лагом. Для уменьшения влияния внешних факторов, обусловленных, главным образом волнением моря, ошвартованные корабли применяют, обычно, кранцевую защиту. При этом в качестве грузовых средств при контактном способе приема-передачи боеприпасов используются обычные судовые краны и стрелы, лебедки которых не имеют следящих устройств, обеспечивающих сохранность груза и безопасность людей. Совокупность данных обстоятельств делает опасным выполнение приема-передачи боеприпасов даже при незначительном волнении моря [1].

В практике иностранных флотов для повышения безопасности при приеме-передаче боеприпасов в море, используется довольно большой набор устройств. К ним следует отнести спе-

циальные палубные краны, снабженные следящими устройствами, качающиеся стреловые системы, гибкие эстакадные трапы с амортизирующими устройствами и стабилизирующими лебедками. Их использование позволяет обеспечивать безопасность грузовых операций контактным способом при большом волнении моря [2].

В научных трудах обоснована насущная необходимость внедрения таких устройств и на кораблях ВМФ РФ [3, 4]. Однако пути решения указанной проблемы пока окончательно не определены.

Анализ способов приема-передачи боеприпасов

Достигнутый в иностранных флотах прогресс в разработке и производстве эффективных грузовых устройств, способных отслеживать качку взаимодействующих кораблей и компенсировать динамические нагрузки, возникающие в системах автоматического управления, позволяет повысить безопасность операций приема-передачи боеприпасов. Однако высокий риск повреждения судов в результате их навала, как при швартовке, так и при проведении самой операции приема-передачи сохраняется [5].

Швартовка кораблей друг к другу в открытом море очень опасна, а в некоторых случаях невозможна. Огромная кинетическая энергия кораблей делает опасным касание бортами даже при небольшой относительной скорости дви-

жения. На волнении движения центров масс принимающего и передающего кораблей имеют по шесть составляющих, показанных на рисунке 1. Это угловые

бортовая и килевая качки, а также рыскание по курсу, вертикальное, продольное и поперечное линейные перемещения.

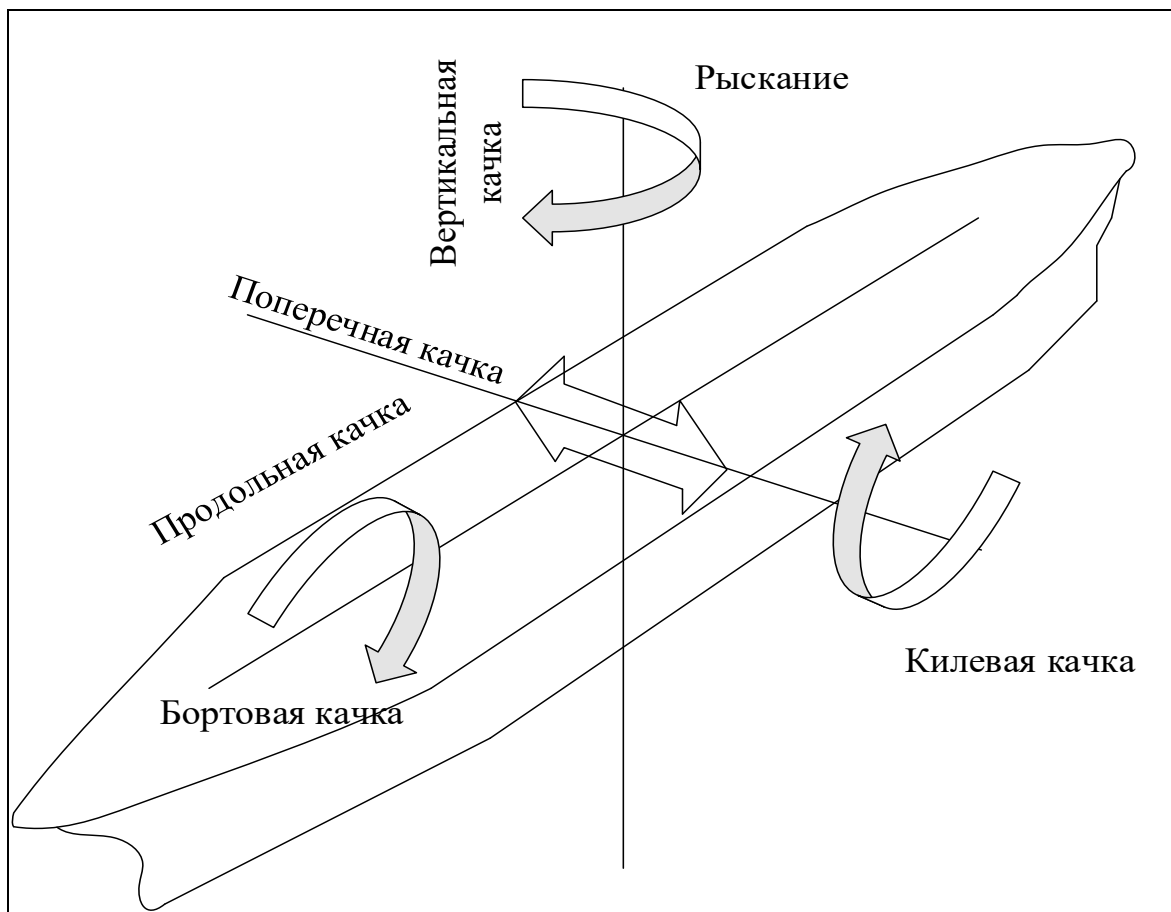


Рисунок 1 – Схема составляющих качки корабля на регулярном волнении

Когда из-за погодных условий передача грузов контактным способом невозможна, используются бесконтактные способы, если они доступны. Классификация бесконтактных способов приема-передачи боеприпасов представлена на рисунке 2. Корабли, в этом случае, движутся параллельными курсами с постоянной скоростью на некотором безопасном расстоянии друг от друга, а грузы передаются посредством судовых канатных дорог.

В последнее десятилетие проблема приема-передачи боеприпасов в откры-

том море стала особенно актуальной. Объясняется это, в первую очередь, интенсивным развитием флота РФ и растущей потребностью использования его в удаленных районах Мирового океана. Данное обстоятельство определяет необходимость создания специальных судов, оснащенных грузовыми устройствами, способными обеспечивать прием-передачу боеприпасов в море. Передавать траверзным способом необходимо жидкие грузы (топливо, воду), сухие грузы (продовольствие, боеприпасы) и людей.

Схема устройства для передачи топлива траверзным способом с несущим и поддерживающим тросом, изображена на рисунке 3. Несущий трос об-

служивается автоматической лебедкой, обеспечивающей ему постоянное натяжение.

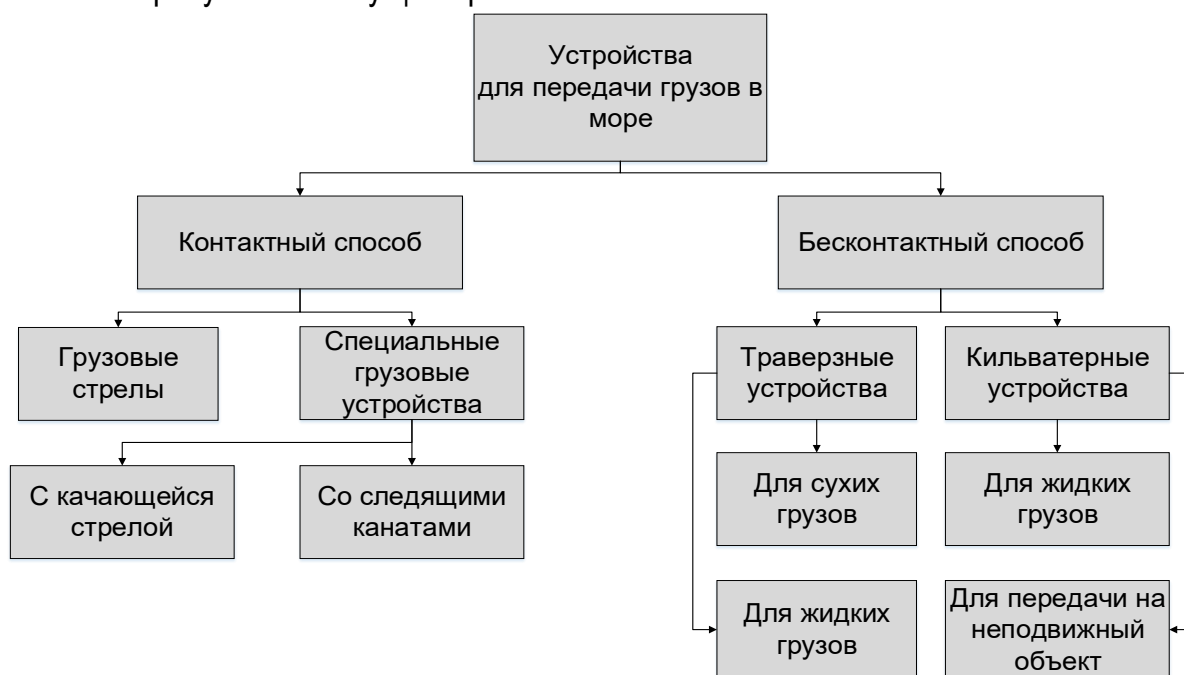


Рисунок 2 – Классификация устройств для передачи грузов в море

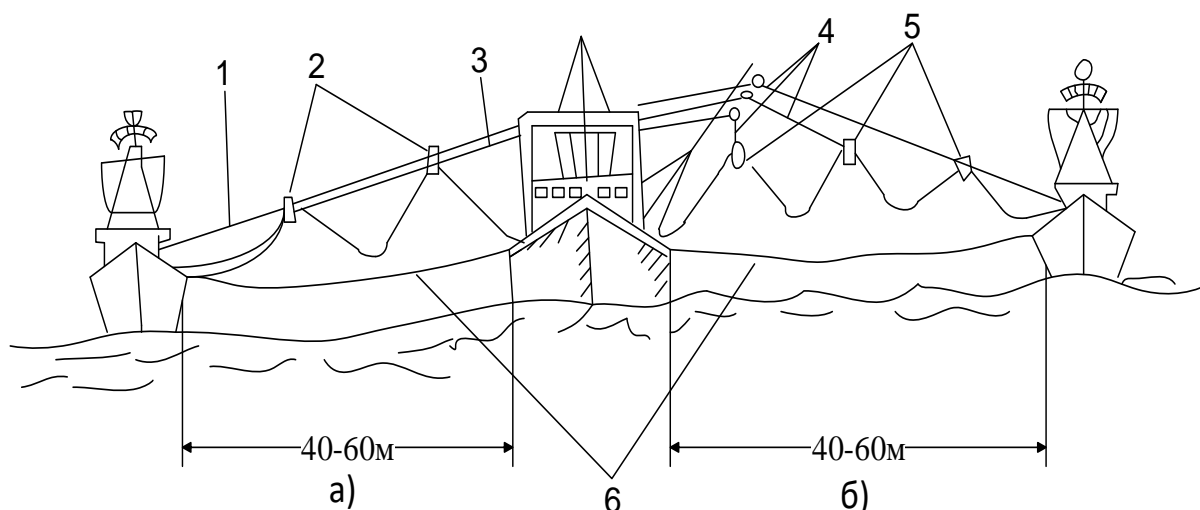


Рисунок 3 – Передача топлива на ходу траверзным способом: а – с несущим тросом; б – с поддерживающим тросом.

Обозначения: 1 – несущий трос; 2 – каретки с лотками; 3 – тяговый трос; 4 – поддерживающие тросы; 5 – лотки

Оснастка линии передачи твердых грузов состоит из несущего троса 1, который одним концом закреплен на при-

нимающем корабле (рисунок 4). Другой конец троса заведен на автоматическую лебедку на судне снабжения, обеспечи-

вающую постоянное натяжение несущего троса. По несущему тросу передвигается каретка 2, к которой подвешивается передаваемый груз. Каретка передвигается с помощью тягового троса 3, заведенного на лебедку на судне снабжения и на шпиль (или лебедку) на принимающем корабле.

На некоторых кораблях по бортам в средней части корпуса для крепления оснастки при передаче топлива и грузов установлены универсальные заваливаемые колонки (рисунок 5). Каждая ко-

лонка имеет два откидывающихся гака 2 и 4, установленных на корпусе колонки 3. К верхнему гаку крепится поддерживающий трос 1, к нижнему – специальный блок 7. Специальный блок подвешен на поддерживающем тросе и может передвигаться по нему. В блок заведен передающий трос 8 (оснастка показана при наличии на судне снабжения лебедки). Для подтягивания блока к универсальной колонке используется подтягивающий трос 6, проведенный через канифас-блок 5.

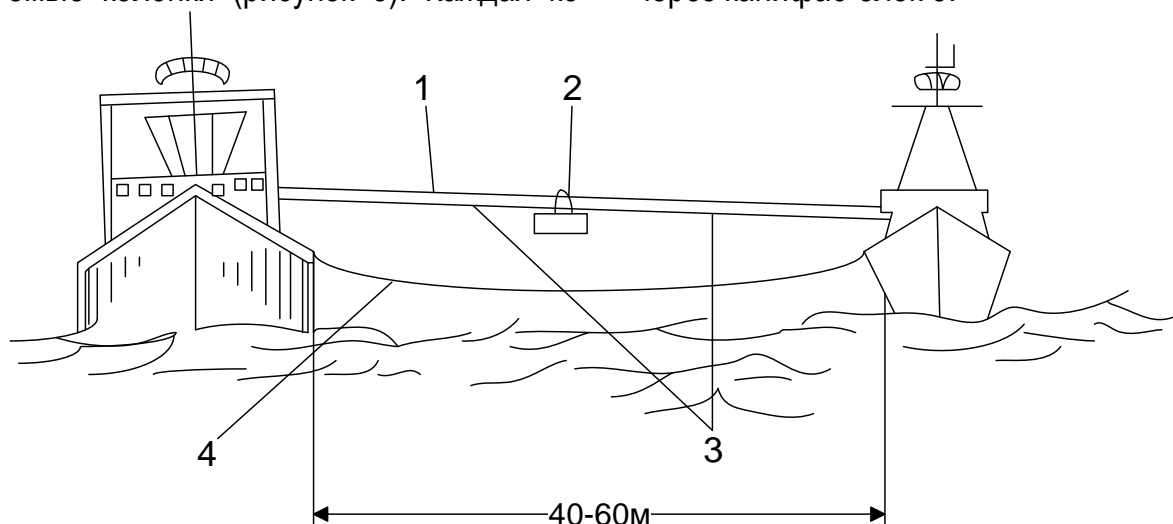


Рисунок 4 – Схема передачи твердых грузов на ходу траверзным способом

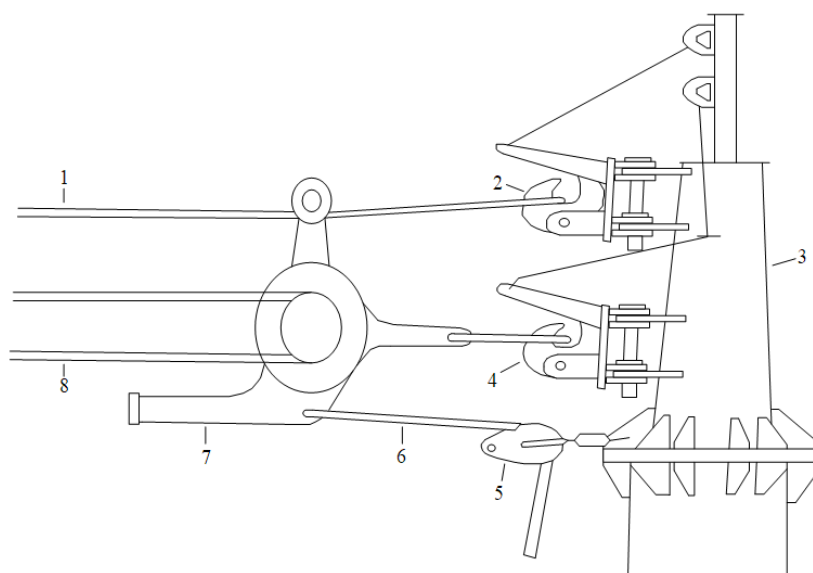


Рисунок 5 – Универсальная колонка для крепления оснастки при приеме топлива и грузов на принимающем корабле

Военно-морские силы стран НАТО применяют передачу на ходу топлива и снабжения еще с середины прошлого века. На кораблях российских ВМС первые испытания проводились в 80-е годы прошлого века. В последние годы тренировки по передаче грузов на ходу отрабатывались в ходе совместных учений ВМФ России и кораблей стран НАТО («Active Endeavour», 2006, «Black SeaFor», 2006).

Все крупные танкеры снабжения ВМС США, которые построены и модернизированы за последние 10 лет, оснащены системой «Фаст», предназначенной для передачи твердых грузов на ходу в море.

Первоначально систему разработали для передачи на корабли зенитных и противолодочных управляемых ракет. Затем ее усовершенствовали и стали использовать для передачи всех твердых грузов и людей. Американские специалисты рассматривали ее как ком-

плексную систему передачи твердых грузов непосредственно с мест хранения на транспорте снабжения до мест хранения на корабле.

Система состоит из подсистем подачи грузов от мест хранения на транспорте к грузовым площадкам, перемещения их с транспорта на корабль (рисунк 6), а также приема и распределения на корабле (работы на всех этапах механизированы). При помощи системы «Фаст» за 15 мин можно передать 10 зенитных управляемых ракет с транспорта на корабль. Она рассчитана на передачу всех принятых на вооружение в ВМС США ракет для надводных кораблей, в том числе с атомными боеголовками. Один комплект тросовой оснастки обеспечивает передачу до 120 тонн грузов в час при скорости хода 14 – 18 узлов, при этом транспорт и корабль могут одновременно изменять курс или выполнять противолодочный зигзаг.

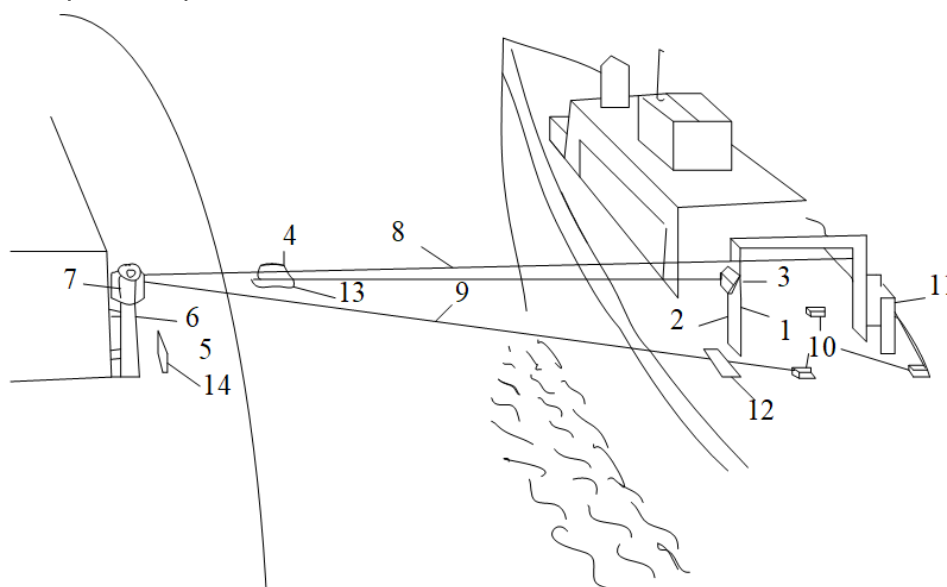


Рисунок 6 – Оборудование системы «Фаст» для перемещения груза на корабль.
 1 – колонна; 2 – подъемный механизм; 3 – каретка с захватом; 4 – тележка; 5 – колонка; 6 – кронштейн с захватом и амортизаторами; 7 – подъемно-поворотное устройство; 8 – несущий грузовой трос; 9 – тяговые тросы; 10 – электрогидравлические лебедки; 11 – пневмогидравлический амортизатор; 12 – площадки грузового лифта на транспорте; 13 – груз с усиленным брусом и держателем; 14 – транспортная тележка на принимающем корабле.

На принимающем корабле транспортировка грузов механизирована. Здесь имеются транспортеры, электропогрузчики, малогабаритные автопогрузчики, переносные конвейерные передачи и т.п.

На универсальных транспортах снабжения ракеты размещаются в погребах на стеллажах рамочного типа. Перед подъемом со стеллажа к ракете крепится усиленный брус с держателем, с которым она и перемещается вплоть до принимающего корабля. В бресе имеются вырезы на боковой стенке и отверстия в нижней части для перегрузки ракеты с помощью вильчатых захватов электропогрузчиков и автопогрузчиков.

На быстроходных универсальных транспортах снабжения типа «Сакраменто» оборудовано 15 постов передачи грузов траверзным способом (9 с левого борта и 6 с правого). Четыре из них (по 2 с каждого борта), предназначенные для передачи ракет на ходу в море, снабжены системой контроля за состоянием управляемых ракет на всем пути транспортировки.

На английских быстроходных, универсальных транспортах снабжения типа «Лайнес» механизация транспортировки грузов решена следующим образом. Грузы подают из трюмов при помощи семи подъемников (грузоподъемность 2 – 5 т) со скоростью 36 м/мин на главную палубу, где они сосредотачиваются на площадке размером 100х4,6 м. Для доставки грузов к подъемникам и перевозки их по главной палубе к постам передачи на транспортах имеется 13 электропогрузчиков грузоподъемностью по 1200 кг и девять специальных пакетопгрузчиков. Кроме того, вдоль

бортов около постов установлены роликовые конвейеры с гидравлическим приводом. К постам передачи грузы подаются через 12 водонепроницаемых дверей шириной 3,7 м, имеющих гидравлические приводы.

Централизованный контроль за всеми работами и управление осуществляются с поста управления, расположенного в кормовой части средней надстройки. Четыре дистанционно управляемые телекамеры в водонепроницаемых корпусах установлены в носовой, средней и кормовой частях транспорта. На посту управления находятся 4 телевизионных приемника, которые позволяют дежурному контролировать ход работ на всех участках верхней палубы.

В зарубежной печати сообщалось, что одна английская фирма разработала новое устройство для передачи грузов в море траверзным способом. В нем используется принцип «регулируемого натяжения». Для этой цели в тросовой оснастке применен «измерительный трос», натягиваемый между транспортом и кораблем, который позволяет точно определять траверзное расстояние и скорость его изменения. Полученные величины автоматически вводятся в систему управления электрогидравлической лебедкой. Для регулирования величины натяжения грузового троса используется датчик натяжения. При подходе тележки с грузом к приемному устройству срабатывает привод подъема и опускания приемной консоли, и с помощью последней тележка опускается на палубу принимающего корабля. Аналогичное устройство установлено на транспорте, где грузовая тележка улавливается приёмо-

поворотной головкой и фиксируется ею. Срабатывает привод подъема консоли, которая, поворачиваясь, устанавливает тележку на палубу транспорта для очередной погрузки.

Фирма «Виккерс-Сперри рэнд» разработала автоматизированную систему передачи грузов на корабль, как со специальным приемным устройством, так и без него. В этой системе, включающей ЭВМ с программным управлением, груз перемещается со скоростью до 120 м/мин. В ней имеются специальные датчики скорости и положения груза, которые смонтированы на вертлюжных блоках. Через эти блоки проходят тяговые тросы грузовой тележки, с помощью которых измеряется направление и скорость движения тележки. Скорость перемещения груза в системе 274 м/мин, ее предполагается увеличить до 426 м/мин. ЭВМ управляет работой лебедок так, что ускорения перемещения груза, вызываемые качкой и рысканием кораблей, и соответствующие напряжения в элементах системы не выходят за допустимые пределы.

Максимально допустимое расстояние между транспортом и кораблем – 180 м, максимальное расстояние передачи груза, исключающее необходимость перестройки системы – 90 м.

На канадском транспорте снабжения «Провайдер» установлено устройство передачи грузов фирмы «Гаррет марин» совместно с ВМС Канады. Оно обеспечивает передачу груза весом 2270 кг. Основу его составляет самоходная грузовая электротележка, перемещающаяся по нижней и верхней ветвям несущего троса между транспортом и кораблем. Для подъема и опускания груза на палубу она оборудована электротельфером, поэтому можно обойтись без тяговых тросов и грузопередающих лебедок. При передаче грузов с низко расположенным центром тяжести и в сетях используется один несущий трос, а при передаче ракет и боеприпасов – два. В иностранной печати сообщалось, что такое устройство резко уменьшает раскачивание передаваемого груза.

Тяговый электродвигатель вмонтирован в тележку. Скорость тележки, составляющая 23 м/мин, при приближении на 6 – 9 м к приемному посту снижается до 9 м/мин. В тележку вмонтирован электромагнитный тормоз, позволяющий останавливать ее в любой точке передачи.

Номинальное расстояние передачи 46 м, но при уменьшении массы груза оно может быть увеличено до 90 м. Система работоспособна при высоте волны до 3,6 м и бортовой качке 17°. По данным зарубежной печати возможна разработка аналогичного устройства для передачи грузов весом до 4540 кг.

На транспорте снабжения «Провайдер» для передачи топлива и твердых грузов оборудовано 9 пунктов. Три из них служат для передачи топлива траверсным способом, один – кильватерным, четыре – для передачи твердых грузов и один – для транспортировки людей.

В ВМС ФРГ проводились специальные испытания с целью выбора лучшей системы передачи различных грузов для транспортов снабжения водоизмещением 2 – 6 тыс. т (в ВМС США, Великобритании и Канады созданы устройства для транспортов водоизмещением 10 – 50 тыс. т). В результате выбрана единая лебедочная система с управле-

нием по натяжению, которая состоит из трех лебедок: главной – для натяжения несущего стального троса при весе груза до 1000 кг, вспомогательной – для перемещения оснастки при передаче твердых грузов или для перемещения наружного седла крепления шланга и обратной выборки троса при передаче жидких грузов, седельной – для перемещения внутренних седел крепления шланга при передаче жидких грузов.

Все лебедки снабжены регулирующими устройствами для поддержания постоянного натяжения и провиса тросов независимо от движения кораблей. Приводы главной и вспомогательной лебедок снабжены электронными регуляторами крутящего момента, которые предохраняют тросовую оснастку от разрывных напряжений. При прекращении питания тормозов лебедок от бортовой сети, оно автоматически переключается на аккумуляторные батареи. На случай выхода из строя электронных регуляторов предусматривается ручное регулирование.

Несмотря на сложность операции передачи грузов на ходу, она имеет ряд существенных преимуществ:

- корабли постоянно находятся на ходу, что дает выигрыш во времени;

- якорная стоянка не всегда возможна, а передача в дрейфе более опасна, чем на ходу;

- движущиеся корабли более устойчивы на волне;

- корабли на ходу сохраняют некоторую маневренность.

Заключение

Таким образом, исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Возможности контактного способа передачи грузов в открытом море практически исчерпаны.

2. Возможность приема-передачи боеприпасов между кораблями в море на ходу эквивалентно увеличению числа боевых единиц в соединении.

3. Использование бесконтактных способов, позволяет избежать повреждений кораблей, создает возможность выполнять передачу боеприпасов при повышенном волнении моря, что существенно повышает эксплуатационные показатели боевых кораблей.

4. Состояние систем передачи грузов между кораблями ВМФ России в открытом море актуализирует научную задачу разработки системы, обеспечивающей прием-передачу боеприпасов на ходу бесконтактным способом при повышенном волнении.

Библиографический список

1. Бородай И.К., Нецветаев Ю.А. Качка судов на морском волнении. – Л.: Судостроение, 1969. – 432 с.

2. Naval warfare publication, Underway Replenishment NWP 4-01.4 (Formerly NWP 14 (Rev. E)), Department of the US NAVY, 2004.

3. Богданов А.М. Передача грузов кораблям на ходу. – М.: Воениздат, 1964. – 254 с.

4. Андреева Л.Н., Киев А.В., Маслов М.А., Махорин Н.И., Соколов Г.С.. Средства передачи грузов на суда в море. – Л.: Судостроение, 1973. – 224 с.

5. Бородин Е.Л. Управление судном при передаче грузов в море траверзным способом: автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.22.19 Эксплуатация водного транспорта, судовождение: 26.06.2009. – Новороссийск. – 23 с.

References

1. Borodaj I.K., Necvetaev YU.A. Kachka sudov na morskome volnenii. – L.: Sudostroenie, 1969. – 432 s.
2. Naval warfare publication, Underway Replenishment NWP 4-01.4 (Formerly NWP 14 (Rev. E)), Department of the US NAVY, 2004.
3. Bogdanov A.M. Peredacha грузов korablyam na hodu. – M.: Voenizdat, 1964. – 254 s.
4. Andreeva L.N., Kiev A.V., Maslov M.A., Mahorin N.I., Sokolov G.S. Sredstva peredachi грузов na suda v more. – L.: Sudostroenie, 1973. – 224 s.
5. Borodin E.L. Upravlenie sudnom pri peredache грузов v more traversnym sposobom: avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk: 05.22.19 Ekspluatatsiya vodnogo transporta, sudovozhdenie: 26.06.2009. – Novorossiysk. – 23 s.

Статья поступила 29.08.2021 г.

© А.В. Кипер, Г.А. Рыжов, И.И. Давлюд, 2021

Сведения об авторах List of Authors

Кипер Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры артиллерийского и зенитного вооружения надводных кораблей Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия» (филиал в г. Калининград).

Alexandr Kiper – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Artillery and Anti-Aircraft Weapons of Surface Ships of the Military Educational and Scientific Center of the Navy «Naval Academy» (branch in Kaliningrad).

Рыжов Григорий Анатольевич – адъюнкт кафедры артиллерийского и зенитного вооружения надводных кораблей Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия» (филиал в г. Калининград).

Grigori Rigov – Adjunct of the Department of Artillery and Anti-Aircraft Weapons of Surface Ships of the Military Educational and Scientific Center of the Navy «Naval Academy» (branch in Kaliningrad).

Давлюд Игорь Игоревич – кандидат технических наук, преподаватель центра иностранных военнослужащих Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия» (филиал в г. Калининград).

Dawlyud Igor – Candidate of Technical Sciences, Lecturer at the Center for Foreign Servicemen of the Military Educational and Scientific Center of the Navy «Naval Academy» (branch in Kaliningrad).

Ссылка для цитирования: Кипер А.В., Рыжов Г.А., Давлюд И.И. Проблема передачи боеприпасов между кораблями в открытом море на ходу траверсным способом // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 42 – 51.

For citation: Kiper A.V., Rigov G.A., Dawlyud I.I. The problem of transferring ammunition between ships on the high seas on the move by traverse method // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 42 – 51 (in Russian).

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

З.Н. Расулов, Е.Ю. Ремшев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург
E-mail: tankaevz@mail.ru

Аннотация. Исследована возможность применения фторорганического покрытия на деталях типа «экран», изготовленных методом холодной штамповки из тугоплавких металлов, в частности, ниобия. Такие изделия находят свое применение в ракетной и космической технике. Фторорганическое покрытие внедряется в поверхностный слой материала и образует пленку. Ниобий, в свою очередь, при пластической деформации сильно меняет свой состав и температуру кристаллизации. Из-за давления кристаллическая решетка начинает деформироваться и, так как микроуровень на поверхности сильно отличается от микроуровня зерна, происходит искривление на поверхности кристаллической структуры, которое приводит к образованию маленьких по величине остаточных напряжений третьего рода. Они способствуют образованию трещин и разрушению заготовки. В работе также представлены результаты исследования механических характеристик образцов с акустико-эмиссионным сопровождением и значения твердости до и после нанесения фторорганической композиции. При применении метода акустической эмиссии становится возможным определение коэффициента интенсивности напряжений. Исследована поверхность деталей с покрытием и без него после свертки. Показана возможность предотвращения потери устойчивости на первой операции технологического процесса, а также уменьшения количества операций путем исключения отжига между последующими операциями вытяжки с утонением.

Abstract. The possibility of using an organofluorine coating on parts of the «screen» type, made by cold stamping from refractory metals, in particular, niobium, has been investigated. Such products find their application in rocket and space technology. The organofluorine coating penetrates into the surface layer of the material and forms a film. Niobium, in turn, strongly changes its composition and crystallization temperature upon plastic deformation. Due to the pressure, the crystal lattice begins to deform and, since the microlevel on the surface is very different from the microlevel of the grain, bending occurs on the surface of the crystal structure,

which leads to the formation of small residual stresses of the third kind. They contribute to the formation of cracks and destruction of the workpiece.

The paper also presents the results of a study of the mechanical characteristics of samples with acoustic emission support and the values of hardness before and after the application of the organofluorine composition. When applying the method of acoustic emission, it becomes possible to determine the stress intensity factor. The surface of parts with and without coating after convolution is investigated. It is shown that it is possible to prevent loss of stability at the first operation of the technological process, as well as to reduce the number of operations by eliminating annealing between subsequent operations of drawing with thinning.

Ключевые слова: *тугоплавкие сплавы, ниобий, холодная штамповка, фторорганическое покрытие, аэроакустическая обработка.*

Keywords: *refractory alloy, niobium, cold stamping, organofluorine coating, aeroacoustic treatment.*

Введение

Основную группу тугоплавких металлов представляют вольфрам, рений, тантал, молибден и ниобий, к дополнительным относят титан, ванадий, хром, цирконий, рутений, родий, гафний, осмий и иридий. Выделим основные направления использования узлов и конструкций из тугоплавких металлов и сплавов: жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы для нефтеперегонной аппаратуры; сверхпроводники для радиоэлектроники; реактивные двигатели; кислотоупорные сплавы для химической аппаратуры; компактные конденсаторы; детали электронных ламп; в медицине – для скрепления костей и нервов. Применение находят изделия, которые изготавливаются из редкоземельных, тугоплавких металлов (ниобий, тантал, сплавы титана и т.д.). Детали из ниобия и молибдена служат в качестве экранов, излучающих энергоимпульсы, немагнитных корпусов, гибких элементов и др. С применением процессов холодной штамповки изготавливают широкую номенклатуру по-

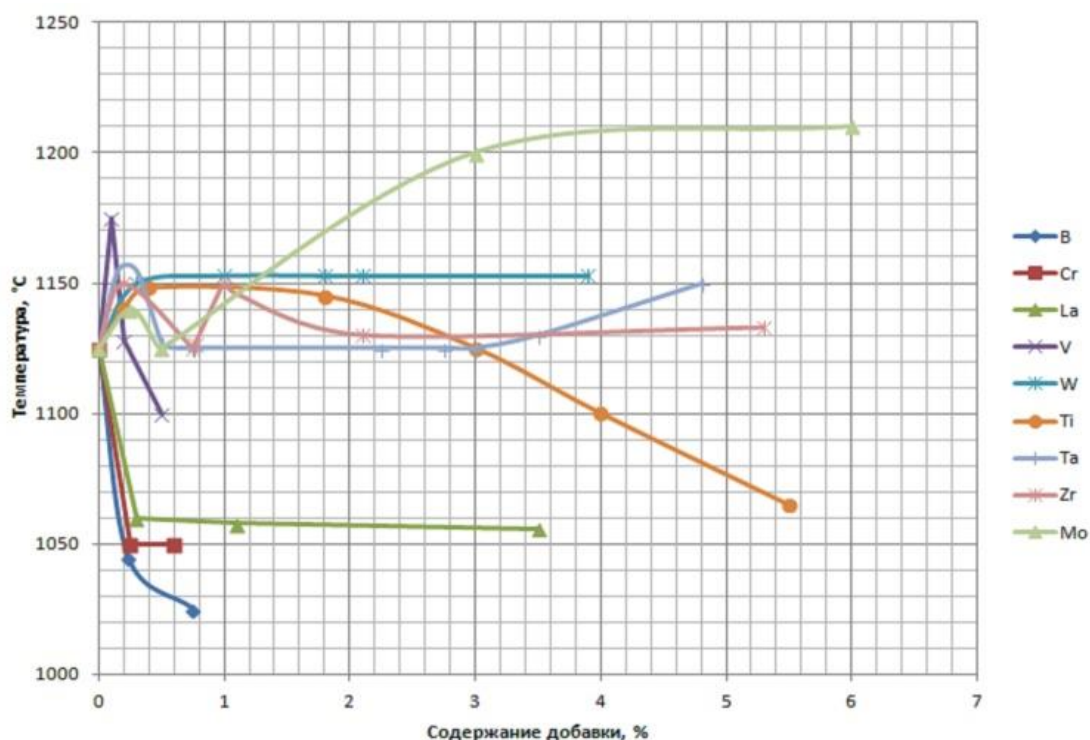
лых осесимметричных деталей из ниобия и молибдена. Изготовление полуфабрикатов холодной штамповкой из тугоплавких материалов традиционными способами вызывает определенные сложности, что сопровождается значительной долей брака (до 50%). Причиной возникновения дефектов при деформации служат действия напряжений указанных материалов в связи с действием жестких схем напряженного состояния, которые реализуются в процессе листовой штамповки. Немаловажным фактором снижения технологических свойств и штампуемости материала являются физические особенности тугоплавких металлов, такие как адгезия с инструментом и структурные изменения материала в зависимости от степени деформации и действия остаточных напряжений [1–5].

Материалы и методы

На рисунке 1а представлена графическая зависимость изменения температуры отжига тугоплавкого металла (ниобия) от наличия тех или иных при-

месей в его составе. Содержание молибдена (*Mo*) более 3% увеличивает температуру отжига 1200°C, а содержание бора *B* от 0,8 до 1% снижает температуру отжига до 1030-1000°C. Содержание титана *Ti* от 5 до 5,5% также снижает температуру отжига до 1070-1090°C. Изменение температуры отжига в интервале от 1050°C до 1200°C существенно для производства изделий в условиях работы предприятия. Дефекты поверхности, приводящие к трещинам (рисунок 1б), наблюдаются при

штамповке как на первой операции (свертка), так и на последующих вытяжках. Характер структуры и, в первую очередь, величина зерна, а также состояние металла оказывают большое влияние на механические свойства и деформируемость ниобия при обработке давлением. Значительное изменение структуры, заключающееся в дроблении зёрен и появлении текстуры ниобия в рекристаллизованном состоянии, наблюдается после деформации 25-60% (таблица 1).



а)

Рисунок 1 – Особенности холодной штамповки ниобия: а) изменение температуры отжига ниобия в зависимости от содержания примесей; б) полые осесимметричные детали из молибдена и ниобия



б)

Таблица 1 – Влияние степени холодной деформации

Степень деформации	0	10	20	30	40	50	60
Твёрдость по Виккерсу (кгс/мм ²)	84	104	113,5-118,5	119-128,5	123-136,5	128-142	132-148

Из приведённых данных следует, что твёрдость ниобия с увеличением степени деформации до 25% изменяется незначительно в интервале 25-60%. При деформации более 60% твёрдость снова возрастает. Основным видом термической обработки ниобия и большинства его сплавов является отжиг, который производят преимущественно в вакуумных печах с металлическими нагревателями и реже в атмосфере нейтральных газов. Вакуум должен быть не ниже 10^{-5} – 10^{-4} мм рт. ст. Перечисленные особенности ниобия, несмотря на его высокую пластичность, приводят к ряду технологических проблем при реализации технологии холодной штамповки в производстве полых осесимметричных деталей: значительная доля брака (до 50%); нецелесообразность проведения межоперационного отжига, ввиду значительного изменения свойств металла в процессе холодной штамповки; высокая адгезия с инструментом и, как следствие, быстрый износ; невозможность оперативного контроля исходного материала и полуфабрикатов в процессе последовательных операций холодной штамповки. Перечисленные проблемы приводят к снижению производительности труда и повышению себестоимости изготовления изделий.

Применение вытяжки с утонением стенки позволит повысить технологич-

ность изделия, а также интенсифицировать процесс производства. Под технологичностью детали, получаемой листовой штамповкой, следует понимать такое сочетание основных элементов ее конструкции, которое обеспечивает наиболее простое и экономичное изготовление детали при соблюдении технических и эксплуатационных требований к ней. Обязательным пунктом после проведения каждой штамповочной операции является обезжиривание заготовки для получения необходимых размеров и качества детали. Для того чтобы изготовить данное изделие требуется разрезать лист на полосы, а после, с применением операции вырубки, получить заготовку в виде круга. Далее применяют 1-5 операций вытяжки без утонения и 1-5 операций ротационной вытяжки с утонением, а после – обжим дульцевой части. Затем применяется операция отрезка дна и электроэрозионный способ получения отверстий.

Целью работы является исследование поврежденности металла штампуемых полуфабрикатов из ниобия в технологии холодной штамповки полых осесимметричных деталей с применением процесса вытяжки и разработка практических рекомендаций по повышению качества штампуемых деталей. Задачами настоящей научно-исследовательской работы являются: экспериментальное исследование фи-

зико-механических и технологических свойств ниобия в процессе холодной штамповки детали «экран», оценка поврежденности металла полуфабрикатов на операциях технологического процесса, а также исследование влияния модификации рабочего инструмента для штамповки полуфабрикатов из ниобия на качество штампуемых деталей, установление закономерностей влияния технологических факторов на качество штампуемых полуфабрикатов и повреждаемость металла. Для оценки степени пригодности конструкции экрана к его изготовлению способами вытяжки при обеспечении устойчивости и прочности заготовки в процессе деформации для получения заданного уровня качества отштампованной детали запланированы и проведены исследова-

ния по результатам испытания на растяжение плоских образцов из ниобия НБПЛ-1 в исходном состоянии после межоперационного вакуумного отжига, а также после покрытия фторорганической нанокompозицией.

Испытание (растяжение) производилось на универсальной испытательной машине SHIMADZU AGX-100 кН из центра коллективного пользования «Центр исследования материалов» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (рисунок 2). Химический анализ материала показал, что содержание Nb – $98,75\% \pm 0,165$), примесей P – $0,97\% \pm 0,027$, Sb – $0,22\% \pm 0,049$ и Mo – $0,06\% \pm 0,014$.

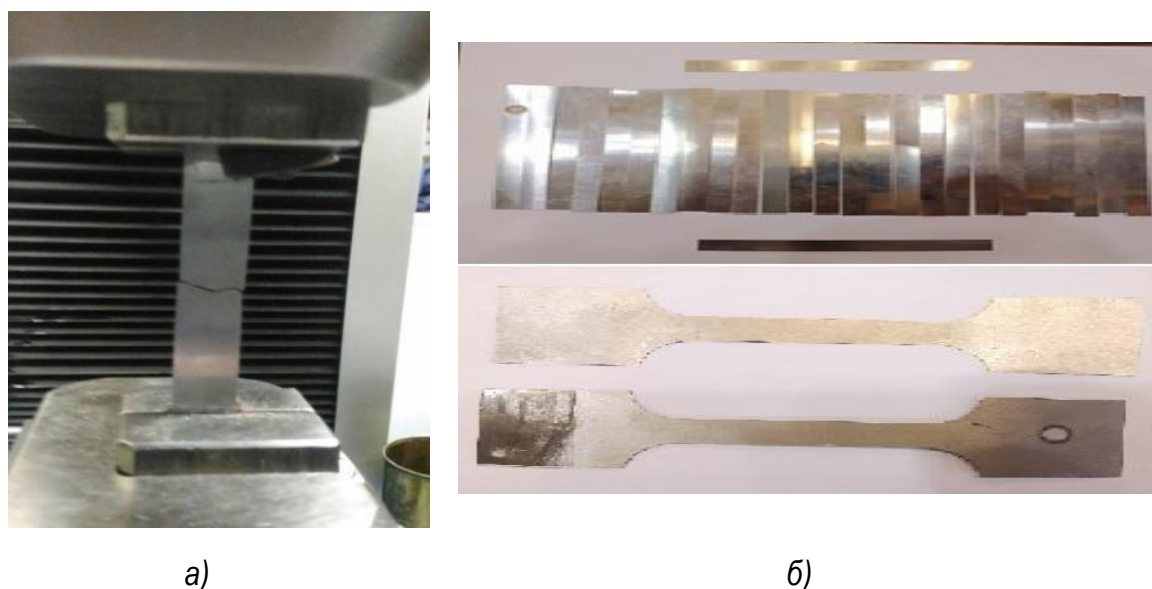


Рисунок 2 – Испытательная машина SHIMADZU AGX-100кН и образцы ниобия НБПЛ-1 в процессе экспериментального исследования: а) общий вид рабочей зоны SHIMADZU AGX-100кН; б) образцы на растяжение ниобия НБПЛ-1

Результаты исследования

Результаты экспериментального исследования представлены в таблице 2. На их основании построена графиче-

ская интерпретация изменения механических характеристик ниобия НБПЛ-1 в зависимости от состояния (исходное состояние, рекристаллизационный отжиг,

фторорганическое покрытие). В исходном состоянии пластичность составляет $\delta = 8-10\%$ в части диаграммы растяжения НБПЛ-1 области образования шей-

ки, деформация частично проходит по хрупкому механизму (участки вертикального падения нагрузки).

Таблица 2 – Результаты механических испытаний на растяжение образцов ниобия НБПЛ-1 толщиной 0,15мм (исходный материал для изготовления экрана)

Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$ МПа			Условный предел прочности, σ_B МПа			Относительное удлинение, δ %		
Исходная	Отжиг 1250°C	Покрытие фтор-пав	Исходная	Отжиг 1250°C	Покрытие фтор-пав	Исходная	Отжиг 1250°C	Покрытие фтор-пав
142	300	120	220	405	221	8,5	8	7,5
145	320	130	223	400	217	10	10	9
147	345	160	225	403	221	9	8	8,5
142	335	155	220	395	228	10	9	9
143	355	147	218	396	227	9	10	9
145	360	149	223	405	226	9	8	8
150	365	158	225	400	225	10	10	8,5
150	370	160	220	398	215	8,5	10	9
152	376	157	225	400	220	10	9	9
152	376	130	223	405	210	9	8	8,5
149	370	145	220	401	205	10	10	9
150	370	140	220	397	228	8,5	8	8
152	372	155	223	406	220	9	9	9
152	370	155	220	400	200	9	10	9
149	370	160	225	399	228	10	10	8

Нанесение покрытия практически мало влияет на пластичность материала НБПЛ-1 в исходном состоянии. При фторорганическом покрытии образцов и последующем растяжении в части диаграммы – область образования шейки, меньше зон с хрупким разрушением, но пластичность ниже, чем в исходном состоянии, время до разрушения образцов меньше. Определение поверхностных свойств производится по методике измерения краевого угла смачивания и определения свободной поверхностной энергии. Прибор для измерения краевого угла смачивания DSA-25E позволяет анализировать форму капли жидкости

на поверхности твердого тела.

Анализ формы капли – это метод анализа изображения для определения краевого угла и/или поверхностного/межфазного натяжения. Капля жидкости наносится на твердую поверхность, после чего изображение записывается с помощью камеры и передается в программу для анализа формы. В процессе распознавания контура капли на основе черно-белого изображения подбирается геометрическая модель контура капли в соответствии с рисунком 3. Краевой угол определяет смачиваемость твердой поверхности жидкостью и позволяет рассчитать свободную

энергию поверхности одним из имеющихся методов: Зисмана, Фоукса, ОВРК, Ву, Шульцта, а также Осса-Гуда. Комплексные исследования структуры и свойств тонкопленочных покрытий неметаллических материалов показали, что независимо от молекулярной структуры, они образуют устойчивые пленки

за счет адсорбционной активности поверхностных слоев. Известно, что трибологические свойства узлов трения во многом определяются величиной их поверхностной энергии и соотношением дисперсионной и полярной составляющих обрабатываемого материала.

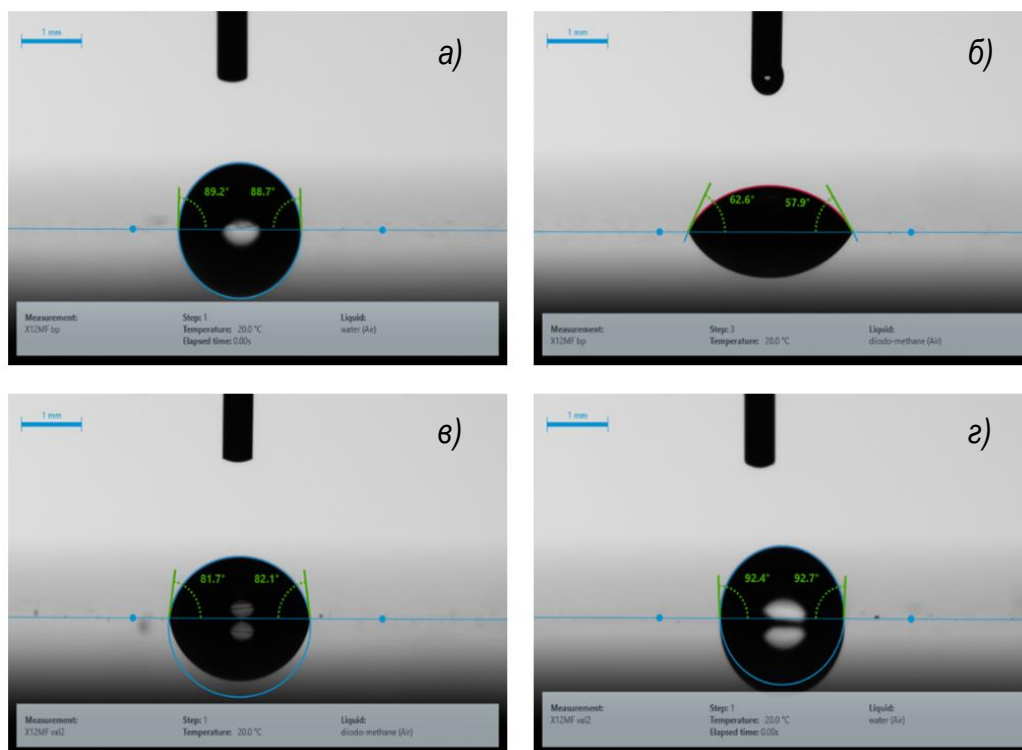


Рисунок 5 – Результаты измерения угла смачивания на поверхности рабочего инструмента: а) диодом метана без модификации поверхности; б) дистиллированной водой без модификации поверхности; в) диодом метана после модификации поверхности; г) дистиллированной водой после модификации поверхности

В рамках проведения экспериментального исследования модифицировали рабочие поверхности инструмента для изготовления экрана из ниобия. Проводили штамповку в экспериментальных штампах без модификации поверхности инструмента и с модификацией активным смазочным покрытием на основе фторорганической наноконпозиции. Основными переходами для

исследования были вырубка-свертка и последующая вытяжка полуфабрикатов. Экспериментальный штамп (штамп дублер) вырубки-свертки представлен на рисунке 6.

В ходе экспериментального исследования поврежденности металла на переходах штамповки в лабораторных условиях проводили вырубку-свертку и последующие вытяжки в эксперимен-

тальных штампах. На первом этапе инструмент не модифицировался, на вто-

ром этапе произвели модификацию рабочей поверхности матриц и пуансонов.

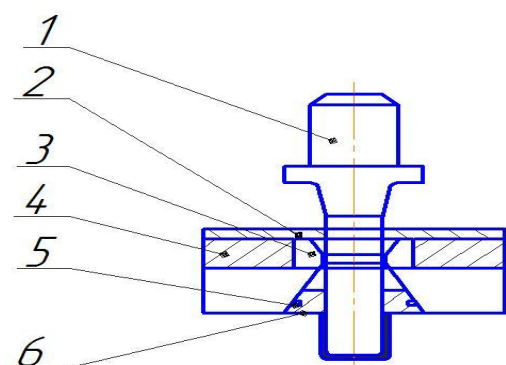


Рисунок 6 – Экспериментальный штамп переходов вытяжки. На схеме вытяжки в штампе обозначены: 1 – пуансон, 2 – полуфабрикат, 3 – твердосплавная вставка, 4 – нерабочая часть матрицы, 5 – стопорное кольцо, 6 – съемник



Рисунок 7 – Полуфабрикаты вытяжки

Обсуждение

Анализ и оценку влияния активного смазочного покрытия на основе фторорганической наноконпозиции проводили на предмет возможного влияния модификации инструмента на материал. По

результатам проведения испытаний на растяжение покрытых образцов не выявлено изменения механических характеристик по сравнению с исходным состоянием. В некоторых случаях наблюдается незначительное повышение

микротвердости. Одним из механизмов, объясняющих эффект повышения микротвердости металлических подложек, обработанных активным смазочным покрытием на основе фторорганической наноконструкции, может быть то, что молекулы олигомера «затекают» в отпечаток после того, как извлекли инденториз исследуемого материала. В результате чего наблюдается уменьшение диагонали отпечатка и, как следствие, повышение расчетного значения микротвердости.

Чтобы подтвердить или опроверг-

нуть это предположение были проведены эксперименты, позволяющие определить микротвердость металлов с покрытием и после удаления фторсодержащего покрытия с поверхности металла. Для этого фторсодержащий олигомер удаляли с поверхности образца с помощью раствора хладона 113 и проводили измерение микротвердости металлов. Проведенные исследования показали, что удаление олигомера с поверхности фактически не влияет на результаты измерений значений микротвердости (рисунок 8).

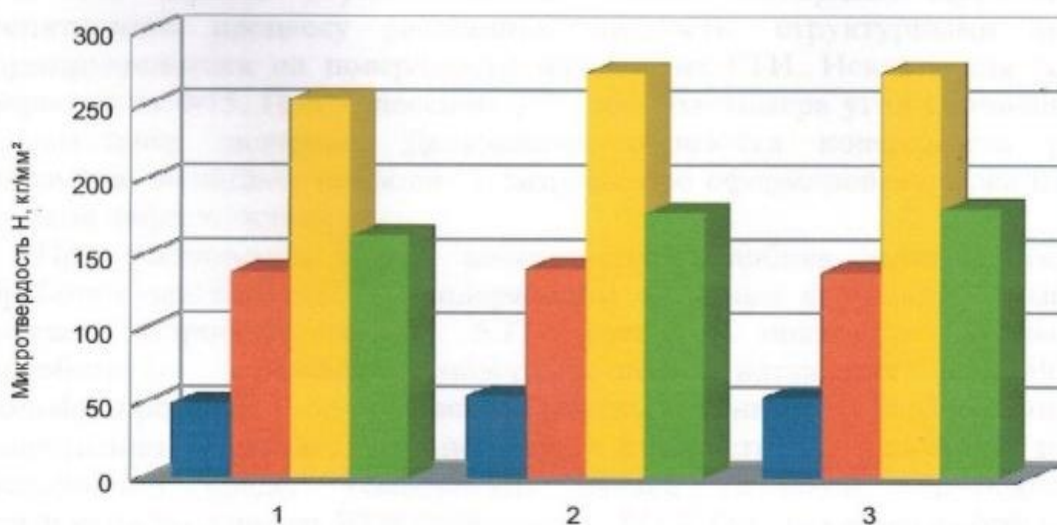


Рисунок 8 – Зависимость микротвердости подложек металла (1), однократно обработанных активным смазочным покрытием (2) и после удаления покрытия с поверхности металла хладоном 113 с поверхности металла (3)

Таким образом, фторсодержащие олигомеры упрочняют поверхностные слои металла в случае, если происходит образование химических (хемосорбционных) связей между пленкой фторсодержащего олигомера и металлом. В случае, если не происходит образования хемосорбционного взаимодействия между молекулами олигомера и металлом, происходит пластифици-

рование поверхностных слоев поликристаллов. Энергетическая обработка интенсифицирует процессы кристаллообразования в тонких пленках, в результате повышается и микротвердость тонкослойного композиционного покрытия.

После межоперационного вакуумного отжига пластичность НБПЛ-1 существенно не изменяется, а прочностные характеристики увеличиваются, что мо-

жет приводить не только к появлению дефектов при проведении операции пластической деформации, но и уменьшить скорость деформации. Увеличение скорости деформации при статическом растяжении влияет на формирующуюся структуру так же, как снижение температуры. При вакуумной термообработке протекают процессы упрочнения и разупрочнения (динамический и термический возврат). Полученные результаты согласуются с работами других авторов, в частности, К.Н. Богоявленского и др. Авторы указывают, что на температуру перехода влияет много факторов, важнейшими из которых являются химический состав, структура материала, скорость деформации, вид напряженно-деформированного состояния [6]. Однако приводимые в литературе рекомендации по листовой штамповке ниобия не содержат, как правило, каких-либо указаний по составу исследуемого материала, его структуре и т. д.

Заключение

Проведен анализ особенностей

штамповки тугоплавких материалов и применяемых технических решений в области повышения качества и автоматизации процесса. Проведены механические испытания на растяжение образцов ниобия НБПл-1 в исходном состоянии, после классического отжига, а также при покрытии фторорганической наноконпозицией. Анализ результатов механических испытаний позволил установить истинные значения механических свойств. Установлены закономерности влияния характеристик поверхности рабочего инструмента и разработана методика экспериментального исследования для оценки разрушения материалов от действия механических нагрузок и внешней среды. Выполнено исследование влияния модификации рабочего инструмента для штамповки полуфабрикатов из ниобия на качество штампуемых деталей, установлены закономерности влияния технологических факторов на качество штампуемых полуфабрикатов и повреждаемость металла.

Библиографический список

1. Гусев А.И. Петрология, геохимия и рудоносность анорогенных гранитоидов Шибеликского комплекса Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 6. С. 71–82.
2. Боташев А.Ю., Байрамуков Р.А. Разработка и исследование устройства для газовой листовой штамповки с поршневым мультипликатором давления // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17. № 2. С. 132-143.
3. Минько Д.В. Анализ перспектив применения электропластического эффекта в процессах обработки металлов давлением // Литье и металлургия. 2020. № 4. С. 125-130.
4. Троицкий О.А. Электропластический эффект в металлах // Бюллетень «Черная металлургия». 2018. № 9. С. 65-76.
5. Makeyev A.B., Krasotkina A.O., Skublov S.G. Geochemistry and U-Pb age of zircon from Pizhenskoe titanium deposit (Middle Timan) // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2016. Vol. 5. P. 38-52
6. Bepalov D.A., Remshev E.Y., Danilin G.A., Vorob'eva G.A., Pekhov V.A. Influence of

Heat Treatment on the Properties of Nickel–Chromium–Silicon Bronze Wire // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. P. 29-32.

References

1. Gusev A.I. Petrologiya, geohimiya i rudonosnost' anorogennyh granitoidov SHibelskogo kompleksa Gornogo Altaya // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016. T. 327. № 6. S. 71–82.
2. Botashev A.YU., Bajramukov R.A. Razrabotka i issledovanie ustrojstva dlya gazovoj listovoj shtampovki s porshnevym mul'tiplikatorom davleniya // Vestnik Sa-marskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie. 2018. T. 17. № 2. S. 132-143.
3. Min'ko D.V. Analiz perspektiv primeneniya elektroplasticheskogo effekta v processah obrabotki metallov davleniem // Lit'e i metallurgiya. 2020. № 4. S. 125-130.
4. Troickij O.A. Elektroplasticheskij effekt v metallah // Byulleten' «CHernaya metallurgiya». 2018. № 9. S. 65-76.
5. Makeyev A.B., Krasotkina A.O., Skublov S.G. Geochemistry and U-Pb age of zircon from Pizhenskoe titanium deposit (Middle Timan) // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2016. Vol. 5. P. 38-52
6. Bepalov D.A., Remshev E.Y., Danilin G.A., Vorob'eva G.A., Pekhov V.A. Influence of Heat Treatment on the Properties of Nickel–Chromium–Silicon Bronze Wire // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. P. 29-32.

Статья поступила 02.09.2021 г.
© З.Н. Расулов, Е.Ю. Ремшев, 2021

Сведения об авторах List of Authors

Расулов Зайнодин Нурмагомедович – ассистент кафедры высокоэнергетических устройств автоматических систем Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Zainodin Rasulov – Assistant of the Department of High-Energy Devices of Automatic Systems of the Baltic State Technical University «VOENMEKH» named after D.F. Ustinov.

Ремшев Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры высокоэнергетических устройств автоматических систем Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Evgeny Remshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of High-Energy Devices of Automatic Systems of the Baltic State Technical University «VOENMEKH» named after D.F. Ustinov.

Ссылка для цитирования: *Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю.* Особенности модификации поверхности рабочего инструмента при обработке тугоплавких металлов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 52 - 62.

For citation: *Rasulov Z.N., Remshev E.Yu.* Features of modification of the working tool surface in the processing of refractory metals // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 52 - 62 (in Russian).

ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Н.Д. Дмитриев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург
dmitriev_nd@spbstu.ru

Аннотация. Поддержание устойчивости всех сфер хозяйствования и жизнедеятельности возможно лишь при рациональном использовании имеющихся ресурсов, обеспечивая их оптимальное расходование при минимальном количестве необрабатываемых отходов. В статье предлагается уделить внимание циркулярному использованию отходов производства для максимизации «общественной» эффективности. Отмечено, что построение циркулярной экономики является целевым ориентиром в достижении социально-экономического благополучия общества, государства и всего человечества. Однако для ускоренного перехода к циркулярной экономике требуется уделить расширенное внимание интеллектуальным преобразованиям в общественных и производственных отношениях.

Abstract. Maintaining the sustainability of all spheres of business and life is possible only with the rational use of available resources, ensuring their optimal use with a minimum amount of unprocessed waste. The article proposes to pay attention to the circular use of production waste to maximize «social» efficiency. It is noted that the construction of a circular economy is a target benchmark in achieving the socio-economic well-being of society, the state and all mankind. However, for an accelerated transition to a circular economy, it is necessary to pay expanded attention to intellectual transformations in social and industrial relations.

Ключевые слова: интеллектуальные преобразования, циркулярная экономика, устойчивое развитие, интеллектуальный капитал, инновационное развитие.

Keywords: intellectual transformation, circular economy, sustainable development, intellectual capital, innovative development.

Введение

Стремительное развитие общественно-экономических отношений в современном мире детерминирует про-

ведение кардинальных изменений в производственно-хозяйственной сфере, смещая траектории ее развития в сторону поддержания стратегической

устойчивости. Потребности человечества непрерывно возрастают, приводя к экстенсивному использованию природно-сырьевых ресурсов. Такая неоднозначная и противоречивая динамика повышает необходимость развития новых направлений по рационализации хозяйственной практики.

Высокая значимость концептуальной проблемы поддержания устойчивости признана на общемировом уровне. Сегодня уже сформированы ключевые подходы к разработке и реализации мероприятий, призванных не допустить исчерпания ресурсов и падения уровня жизни населения [1, 2]. В то же время экстенсивное ведение производственно-хозяйственной деятельности уже привело к масштабным проблемам в различных сферах жизнедеятельности общества и негативно сказалось на функционировании общественных и государственных институтов. Для достижения устойчивого развития требуется обеспечить поиск совершенно новых способов оптимизации структуры потребления ресурсов.

Поскольку для обеспечения стратегической устойчивости всех сфер хозяйствования и жизнедеятельности требуется рационализировать использование имеющихся ресурсов, то в контексте максимизации «общественной» эффективности следует обеспечить их оптимальное расходование при возникновении минимального количества необрабатываемых отходов. Принципиально значимым подходом в данном направлении является построение циркулярной экономики [3, 4]. Однако для создания качественных циркулярных взаимодействий следует сформировать траектории знаниеемкого пути разви-

тия, концентрируя усилия на повышении уровня инновационности и создании человеческого капитала нового времени, что является основой интеллектуального капитала.

Таким образом, в данной статье предлагается рассмотреть фундаментальную значимость интеллектуальных преобразований в построении циркулярной экономики. Предлагается на основе теоретического анализа обозначить базис, что интеллектуальная трансформация производственно-хозяйственной деятельности является детерминантом ускоренного перехода к устойчивому развитию и созданию качественной циркулярной экономической системы.

Влияние интеллектуальных преобразований на развитие циркуляционной экономики

Бесспорным остается факт, что устойчивое развитие является целевой установкой современного общества. Вопрос циркулярной экономики не менее актуален, поскольку является базовым элементом формирования новых траекторий поддержания стратегической устойчивости. Непосредственно проблема циркулярной экономики впервые была рассмотрена в научном сообществе в 60-х гг. XX века. Так, в работе [5] были проработаны вопросы повышения конкурентоспособности экономических субъектов за счет экономии ресурсов и сокращения отходов. При этом уже в то время было ясно, что для реализации стратегий кругового производства необходимо обеспечить интенсификацию инновационного развития и привлечь высококвалифицированные человеческие кадры.

Анализируя интеллектуальные преобразования с позиции качественной детерминации трансформационных процессов экономического развития в направлении поддержания стратегической устойчивости территорий и социально-экономических систем всех уровней, следует отметить концептуальную значимость инновационных составляющих рационального использования ресурсов. Разработка циркулярных моделей в стратегии устойчивого развития определяет возможности для поиска оптимального использования ресурсов, организации более эффективного энергоснабжения, ремонта старых объектов вместо приобретения новых, переработки всех возможных отходов с целью получения новой продукции [6, 7].

На помощь процессам переориентации народного хозяйства в сторону устойчивого развития приходят инновационные элементы хозяйствования. В мировой практике делается акцент на проведении структурных изменений путем активного использования достижений научно-технологического прогресса, многократно повышая значимость интеллектуальных ресурсов для производственно-хозяйственной сферы [2]. Научно-технологические инновации и человеческий капитал нового времени являются ключевыми катализаторами повышения стратегической устойчивости, поскольку оказывают непосредственное влияние на положение основного элемента в модели циркулярной экономики – промышленности. Промышленное производство является основным источником экономического роста, однако именно промышленные предприятия потребляют большую часть мировых ресурсов и наносят су-

щественный вред экологии и биоразнообразию.

Формирование и ускоренное воспроизводство интеллектуального капитала позволяет разрабатывать разноуровневые стратегии для сокращения или полного нивелирования вреда, который наносит промышленное производство экологии и социуму. Для функционирования производства с сохранением стратегической устойчивости на базе внедрения инноваций следует обеспечить создание ценных и технологически сложных отраслей, повысить производительность труда и отойти от «вредного» рентоориентированного поведения экономических субъектов. Данные условия напрямую связаны с проведением экономических и социальных преобразований, при которых согласовываются отдельные процессы: эксплуатация природных и других материальных ресурсов в восполняемом объеме, ориентация инвестиционных вложений на научно-техническое развитие, повышение значимости личности [3, 8].

Инновационная деятельность как базисная составляющая интеллектуального капитала запускает функциональные производственно-хозяйственные взаимосвязи, ориентированные на совершенствование циркулярных моделей. Для промышленных предприятий уровень инновационности определяет возможность для ускоренного перехода к устойчивому развитию, однако остаются вопросы по экономической целесообразности использования отходов производства для максимизации не только экономической, но и «общественной» эффективности. Взаимодействие инноваций и циркулярной экономики изображено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Взаимодействие инноваций и круговорота циркулярной экономики

Сложившиеся и устоявшиеся социально-экономические системы нуждаются в срочной модернизации и многоструктурной реструктуризации, а циркулярная экономика является важным направлением в данных процессах на уровне региона. Концептуально значимой остается проблема управления региональными циркулярными процессами, поскольку в рамках такого управления требуется максимально точно определить все возможные параметры поддержания эффективности [4, 9]. Преобразование разноуровневых социально-экономических систем связано с учетом экологических и социальных элементов при реализации производственно-хозяйственной деятельности. Становится очевидным, что для формирования инновационных циркулярных направлений необходимо привле-

кать высококвалифицированные кадры. Человеческий капитал является движущей силой экономических процессов инновационной направленности. Инновационные идеи играют решающее значение для бизнеса, а содействие их социальным и экологическим интересам позволяет повысить эффективность как для предприятия, так и для социума, соответствуя интересам власти, общества и бизнеса [1, 10].

В корпоративной среде поддержание устойчивости связано с интеллектуализацией, а проекты циркулярной экономики являются высокоинтеллектуальными, так как их разработка связана со сложной научно-технологической проработкой. Практическая реализация проектов циркулярной экономики позволяет минимизировать внешние негативные эффекты на окружающую среду

за счет сокращения отходов и создания рационализированных систем производства и потребления. Можно выделить следующие приоритетные сектора циркулярной экономики: переработка пластика, переработка продовольственных отходов, недопущение создания критического сырья, создание «чистого» строительства и сноса объектов, реализация биопродуктов и качественной биомассы [3, 11]. Целевые ориентиры циркулярной экономики направлены на достижение социально-экономического баланса и благополучия общества, государства и всего человечества, однако для этого следует обеспечить создание точек интеллектуального роста путем проведения масштабных преобразований в общественных и производственных отношениях.

Государственная политика в современных условиях должна быть направлена на стимулирование инноваций и реализацию сложноструктурных проектов, направленных на совершенствование способов переработки отходов и создание безотходного производства. В научной среде имеются мнения, согласно которым автоматизация производства приведет к повышению безработицы. Однако существует точка зрения, что активизация знаниеемкого пути развития предоставит возможность создания новых рабочих мест с высоким уровнем интеллектуализации. Например, в рамках концепции «синей экономики» подтверждается данное утверждение, а также определяется наличие возможностей для защиты глобальной экосистемы на основе интеллектуальных преобразований при создании новых рабочих мест. Согласно концептуальным положениям «синей экономи-

ки», можно выделить следующие принципы [12]: любой ресурс можно заменить другим, если он нужен для производства; в природе не существует отходов; любой побочный продукт является источником для нового продукта. Данные принципы в полной мере характеризуют высокую значимость устойчивого развития и обуславливают необходимость проведения интеграции экологических и социальных аспектов хозяйствования и жизнедеятельности в экономическом прогрессе.

Фундаментальное значение интеллектуальных преобразований для построения циркулярной экономики заключается в необходимости ускоренного отхода от классической линейной модели. Циркулярное производство как альтернатива традиционным индустриальным процессам смещает акцент с простого использования ископаемых ресурсов на более экологические и рациональные технологии. Глобальность данной проблемы подтверждается наличием ряда опасностей для последующих поколений и выживания человеческой цивилизации. Одним из примеров реализации циркулярной экономики является создание возобновляемых источников энергии, которые позволяют сократить потребление невозобновляемых ресурсов при параллельном создании новых рабочих мест. Без интеллектуализации невозможно осуществить такие сложные проекты, а значит и переход к циркулярной экономике будет сильно «заторможен». В то же время для реализации проектов интеллектуальной направленности требуется создать условия для привлечения инновационных кадров [6, 7, 13].

Таким образом, модель циркулярной (круговой) экономики полноправно признается альтернативой традиционной модели линейной экономики, поскольку в ее рамках возможно восстанавливать и регенерировать материальные ресурсы в процессе концептуализации интеграции экономической деятельности и экологического благопо-

лучия для достижения устойчивого развития на всех уровнях управления. Базовые этапы моделей линейной и циркулярной экономики представлены на рисунке 2. Также на рисунке отмечена необходимость интеллектуального перехода между экономическими моделями.

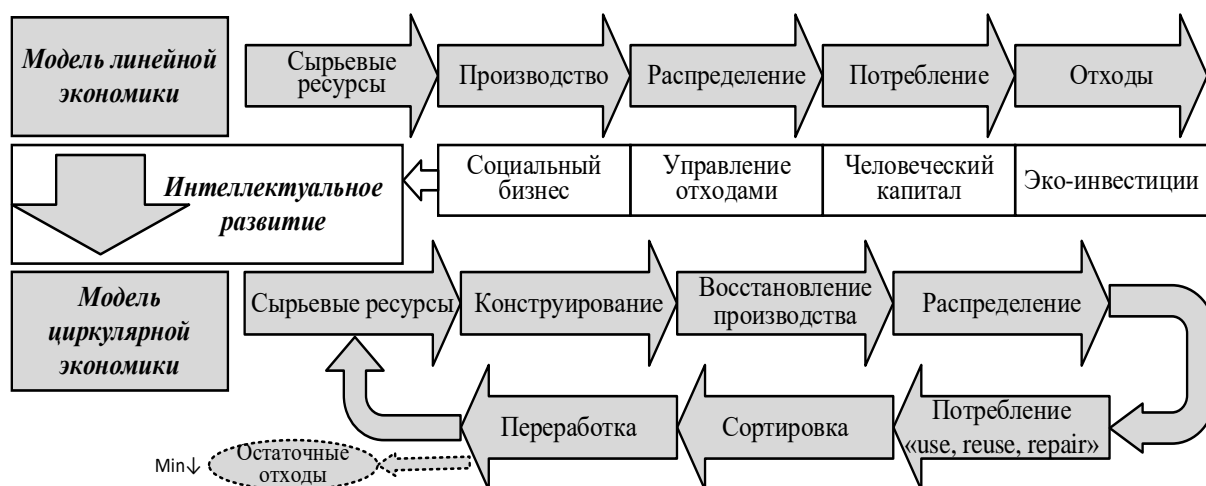


Рисунок 2 – Сравнение моделей линейной и циркулярной экономики

Трансформация классической экономической модели должна происходить на основе расширенного использования интеллектуального капитала, позволяющего использовать в производственно-хозяйственной деятельности совокупность сгенерированных знаний, разработанных технологий и научных открытий фундаментального или прикладного характера. Предлагается выделить следующие основополагающие принципы проведения интеллектуальных трансформаций: минимизация использования природно-сырьевых ресурсов за счет применения инновационных технологий; уменьшение доли отходов за счет их повторного использования в ходе реализации процессов рециклинга; подготовка высококвали-

фицированных специалистов, способных соответствовать потребностям новой экономики в эпоху цифровой трансформации и ориентации на циркулярное производство; внедрение продукции с длительным жизненным циклом и использование для ее производства возобновляемых ресурсов [8, 14, 15].

Несмотря на неоспоримую значимость совершения интеллектуальных преобразований для развития циркулярных направлений, любые преобразования должны быть экономически целесообразными. Предприятия должны получать справедливый эффект от реализации политики устойчивого развития, а недоучет элементов интеллектуального капитала в предприниматель-

ских стратегиях определяет наличие барьеров перед построением циркулярной экономики и отход от экстенсивного использования ресурсов, в первую очередь, в промышленном производстве. Практическая реализация мероприятий по построению циркулярной экономики ставит ряд требований к экономическим субъектам по привлечению специализированных кадров и созданию высокоавтоматизированного производства, способного оптимизировать производственно-хозяйственные процессы. Так, интеллектуализация должна затрагивать не только инновационные процессы в производстве, но и человеческие ресурсы [4, 11].

Новые экономические реалии ставят требования к отходу от классического рентаориентированного поведения, которое вредит устойчивому экономическому развитию и не позволяет процветать населению в пределах планетарных границ. Построение циркулярной экономики является важным направлением для преобразования экономических систем, создавая механизмы по извлечению частной ренты не путем экстенсивного использования ресурсов, а путем реализации экономического вознаграждения за счет повышения интенсивности ведения хозяйства.

Тем не менее, социально-экономическое пространство порождает ограничения для повсеместного перехода к устойчивому развитию: сложность внедрения инноваций, высокая их стоимость и неоднозначная экономическая целесообразность, необходимость своевременной модернизации инноваций, требования по привлечению кадров высокой специализации, необходимость перестройки существующей ин-

фраструктуры. Рост экологического сознания населения, обострение проблем природопользования, ужесточение природоохранных норм обуславливают модернизацию стратегий корпоративного управления, а без интеллектуальных преобразований невозможно представить повышение уровня интенсивности использования ресурсов и создание конкурентных преимуществ экономических субъектов на рынке в полном соответствии с социальными тенденциями [8, 14, 15].

Трансформации, происходящие в современном мире, определили глобальные перемены в преобразовании сложившихся общественно-экономических отношений. Главным трендом развития человеческой цивилизации является концепция устойчивого развития. В данном контексте справедливо утверждение, что построение циркулярной экономики и переход к устойчивому развитию связаны с закрытием возможностей для извлечения вредной ренты, а интеллектуальные преобразования становятся объективно значимым условием для создания новых траекторий стратегического развития бизнеса. Для рационализации использования ресурсного потенциала на разных уровнях следует использовать инновационные технологии, эффективность которых способствует сокращению транзакционных издержек и остаточных отходов производства. Следует отметить, что в настоящий момент человеческая цивилизация располагает необходимыми возможностями и ресурсами для проведения интеллектуальных преобразований, без которых невозможно сместить ориентиры производственно-хозяйственной деятельности в сторону сниже-

ния и полного нивелирования негативного воздействия на экологию и социум.

Заключение

Расточительный образ жизни и нерациональное производство наносят ущерб экосистеме, приводят к ограничению ресурсов и дестабилизируют климатическое, экологическое и биологическое равновесие. Построение модели циркулярной экономики становится концептуально значимым шагом к разрешению глобальных проблем человечества. Непосредственно знание-емкий путь должен привести к структурной трансформации народного хозяйства на основе расширенного внедрения циркулярных бизнес-моделей и формирования инновационных экосистем. Интеллектуальный капитал обладает критической значимостью в вопросе создания и внедрения инноваций, необходимых для циркулярных процессов, а также в области подготовки человеческого капитала нового времени.

С авторской позиции предлагается отметить необходимость рассмотрения проблемы устойчивого развития с ракурса первостепенной значимости промышленных предприятий, которые наносят масштабный урон экологии и социуму вследствие нерационального расходования природно-сырьевых ресурсов и наращивания экстенсивного производства. На основе проведения масштабных интеллектуальных преобразований появляется возможность детерминировать процессы поддержания стратегической устойчивости на всех уровнях управления и разработать траектории интенсивного развития производственно-хозяйственной деятельности. Интеллектуализация позволяет

настроить точечные импульсы разноразноуровневого воздействия для содействия поддержанию стратегической устойчивости, в первую очередь, за счет реализации сложных интеллектуально-ориентированных направлений, к которым в контексте создания устойчивости промышленности относится и циркулярная экономика.

Взаимодействие интеллектуализации и циркулярной экономики приведет к созданию специфической инфраструктуры и внедрению инновационных бизнес-моделей. Линейная экономика исчерпала себя, тогда как альтернативные циркулярные модели позволяют более оптимально расходовать ресурсы, извлекая из них максимальную ценность во время использования, с учетом возможности их восстановления и регенерации. Инновационная модель циркулярной экономики возникает в урбанизированной и экологически ответственной среде, позволяя разработать и реализовать мероприятия для снижения потребления материальных ресурсов и повышения эффективности системы хозяйствования. Проведение качественных преобразований возрастает с каждым годом, обуславливая более подробное изучение данной проблемы.

Процессы интеллектуализации являются детерминантом глобального и масштабного перехода к циркулярной экономике, однако требуется выработать практику создания циркулярных технологий и новое самосознание в обществе. Если рассматривать российскую практику, то вопросы перехода к циркулярной экономике находятся в зачаточном состоянии, что обусловлено недостаточным интеллектуальным развитием, слабой инновационной актив-

ностью государственных структур и низким качеством человеческих ресурсов. В дальнейших исследованиях планируется разработка автором моделей управления интеллектуальным капиталом в предпринимательской среде для содействия устойчивому развитию и сокращения негативных проявлений на

экологию и социум.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-310-90033.

Библиографический список

1. Bermejo R. Handbook for a sustainable economy. In Handbook for a Sustainable Economy. – USA: Springer Science, 2014. – 400 p.
2. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – USA: Crown Business, 2017. – 192 p.
3. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветрова М.А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Серия 5: Экономика. 2017. № 2. С. 244-268.
4. Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context // Journal of Business Ethics. 2017. № 1. pp. 369-380.
5. Boulding K.E. The Economics of Knowledge and the Knowledge of Economics // The American Economic Review. 1966. №. ½. pp. 1-13.
6. Александрова В.Д. Современная концепция циркулярной экономики // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 5-1. С. 87-93.
7. Сочеева В.Е. Циркулярная модель экономики как новый подход к проблеме устойчивого развития // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 7. С. 122-124.
8. Dmitriev N., Zaytsev A. Effectiveness of Lean Business Model in Circular Manufacturing // Proceedings of the 20th European Conference on Research Methodology for Business and Management Studies (ECRM 2021). 2021. pp. 322.
9. Родионов Д.Г., Карпенко П.А., Конников Е.А. Концептуальная модель управления развитием региональных социально-экономических систем // Экономические науки. 2021. № 197. С. 163-170.
10. Ткаченко К.И., Золкин А.Л., Чистяков М.С. Школа развития кадрового потенциала инновационного предпринимательства как эффективная форма межсекторного взаимодействия в современных экономических условиях // Управленческий учет. 2021. № 3-2. С. 380-386.
11. Трофимова П.Е., Данилов Д.Ю., Беляков Г.П. Переход России к циркулярной экономике // Решетневские чтения. 2018. № 2. С. 419-420.
12. Gunter P. The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs. – USA, Boulder: Paradigm Publications, 2010. – 308 p.
13. Зайцев А.А., Родионов Д.Г., Дубаневич Л.Э., Ильченко С.В. Аудит и управление рисками при реализации инвестиционных проектов интеллектуальной направленности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 7-2. С. 152-162.
14. Дмитриев Н.Д. Интеллектуальная рента в новых экономических реалиях: цифровой путь к нооэкономике // Студенческая молодежь XXI века: наука, творчество, карьера, цифровизация: сборник материалов II межвуз. научно-практ. конф. – М.: Изд. МЭИ. 2021. С. 190-195.

15. Дмитриев Н.Д. Интеллектуальные способы повышения экологической ренты // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: сборник статей III межд. научно-практ. конф., посвященной 90-летию БГИТУ. – Брянск: Изд. БГИТУ, 2020. С. 259-262.

References

1. Bermejo R. Handbook for a sustainable economy. In Handbook for a Sustainable Economy. – USA: Springer Science, 2014. – 400 p.
2. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – USA: Crown Business, 2017. – 192 p.
3. Pahomova N.V., Rihter K.K., Vetrova M.A. Perekhod k cirkulyarnoj ekonomike i zamknutym cepyam postavok kak faktor ustojchivogo razvitiya // Vestnik SPbGU. Seriya 5: Ekonomika. 2017. № 2. S. 244-268.
4. Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context // Journal of Business Ethics. 2017. № 1. pp. 369-380.
5. Boulding K.E. The Economics of Knowledge and the Knowledge of Economics // The American Economic Review. 1966. № 1/2. pp. 1-13.
6. Aleksandrova V.D. Sovremennaya koncepciya cirkulyarnoj ekonomiki // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2019. № 5-1. S. 87-93.
7. Socheeva V.E. Cirkulyarnaya model' ekonomiki kak novyj podhod k probleme ustojchivogo razvitiya // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2018. № 7. S. 122-124.
8. Dmitriev N., Zaytsev A. Effectiveness of Lean Business Model in Circular Manufacturing // Proceedings of the 20th European Conference on Research Methodology for Business and Management Studies (ECRM 2021). 2021. pp. 322.
9. Rodionov D.G., Karpenko P.A., Konnikov E.A. Konceptual'naya model' upravleniya razvitiem regional'nyh social'no-ekonomicheskikh sistem // Ekonomicheskie nauki. 2021. № 197. S. 163-170.
10. Tkachenko K.I., Zolkin A.L., Chistyakov M.S. SHkola razvitiya kadrovogo potenciala innovacionnogo predprinimatel'stva kak effektivnaya forma mezhsektornogo vzaimo-dejstviya v sovremennyh ekonomicheskikh usloviyah // Upravlencheskij uchet. 2021. № 3-2. S. 380-386.
11. Trofimova P.E., Danilov D.YU., Belyakov G.P. Perekhod Rossii k cirkulyarnoj ekonomike // Reshetnevskie chteniya. 2018. № 2. S. 419-420.
12. Gunter P. The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs. – USA, Boulder: Paradigm Publications, 2010. – 308 p.
13. Zajcev A.A., Rodionov D.G., Dubanevich L.E., Il'chenko S.V. Audit i upravlenie riskami pri realizacii investicionnyh proektov intellektual'noj napravlenosti // Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava. 2021. № 7-2. S. 152-162.
14. Dmitriev N.D. Intellektual'naya renta v novyh ekonomicheskikh realiyah: cifrovoj put' k noonomike // Studencheskaya molodezh' HKHI veka: nauka, tvorchestvo, kar'era, cifrovizaciya: sbornik materialov II mezhvuz. nauchno-prakt. konf. – M.: Izd. MEI. 2021. S. 190-195.
15. Dmitriev N.D. Intellektual'nye sposoby povysheniya ekologicheskoy renty // Cifrovoy region: opyt, kompetencii, proekty: sbornik statej III mezhhd. nauchno-prakt. konf., posvyashchennoj 90-letiyu BGIU. – Bryansk: Izd. BGIU, 2020. S. 259-262.

*Статья поступила 21.08.2021 г.
© Н.Д. Дмитриев, 2021*

Сведения об авторе
List of Author

Дмитриев Николай Дмитриевич – аспирант Высшей инженерно-экономической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Nikolay Dmitriev – Postgraduate Student of the Graduate School of Industrial Economics of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

Ссылка для цитирования: *Дмитриев Н.Д.* Фундаментальное значение интеллектуальных преобразований для построения циркуляционной экономики // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 3. С. 63 - 73.

For citation: *Dmitriev N.D.* The fundamental importance of intellectual transformations for building a circular economy // Scientific researches: results and prospects. 2021. Vol. 2, N. 3. P. 63 - 73 (in Russian).

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 заголовки.

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

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

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

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

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

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

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

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

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

14. Статьи публикуются бесплатно.

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

05.12.00 – Радиотехника и связь.

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

05.02.00 – Машиностроение и машиноведение

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

05.27.00 – Электроника.

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

05.22.00 – Транспорт.

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

25.00.00 – Науки о Земле.

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

05.23.00 – Строительство.

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

05.17.00 – Химическая технология.

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

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2021 № 3 (Том 2)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2021 № 3 (Vol. 2)**

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

Подписано в печать 11.09.2021 г. Дата выхода в свет 16.09.2021 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 9,47. Уч.-изд. л. 3,92. Тираж 500. Заказ № 842

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 ”