

ISSN 2713-220X

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2023 № 3 (Том 4)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2023 № 3 (Том 4)

СОДЕРЖАНИЕ

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ

- Саттаров Р.Р., Махиянов А.В.* Самоходные устройства для технического обслуживания и диагностики неисправностей нефтегазопроводов 3
- Лобанов И.Е.* Развитие теоретической модели интенсифицированного теплообмена в области присоединения потока при турбулентном течении в теплообменных аппаратах нефтегазовой отрасли 9
- Бардакова Е.А.* Факторы, влияющие на характер последствий затопления горных выработок ликвидированных шахт Донецкого угольного бассейна 14
- Манукян М.М.* Совершенствование методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий в предприятиях нефтегазового комплекса 20

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Исламов М.Н., Ибрагимова Л.Р.* Исследование и разработка технологии извлечения виннокислых соединений из отходов виноделия с применением электромембранных технологий 26
- Султанов Ю.М., Майсарова Э.Д.* Исследование продуктов термической деструкции биомассы тростника в среде азота 33

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

- Шершнёв С.И., Ваганов М.А.* Применение технологии 3D-печати для проектирования элементов СВЧ тракта 38

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Рябичева Л.А., Бабич И.Н.* Исследование прочности и микротвердости наноструктурной меди, полученной равноканальным угловым прессованием 45

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

- Мусаева П.М.* Перспективы развития транспортно-логистической интеграции на уровне Республики Дагестан 50

- Правила оформления и представления статей 58

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

Редакционная коллегия:

- Н.Л. Баламирзоев, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)
Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)
М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)
П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)
А.Н. Мурашквич, д.т.н., профессор (Минск)
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)
И.И. Татарченко, д.т.н., профессор (Краснодар)
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)
Т.А. Хежев, д.т.н., профессор (Нальчик)
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)
При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.
Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.
Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.
Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).
Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.
Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
Телефон: +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru.
ISSN 2713-220X

2023 № 3 (Vol. 4)

CONTENTS

SUBSOIL USE AND MINING SCIENCES	
<i>Sattarov R.R., Makhiyanov A.V.</i> Self-propelled devices for maintenance and troubleshooting of oil and gas pipelines	3
<i>Lobanov I.E.</i> Development of a theoretical model of intensified heat exchange in the field of flow connection during turbulent flow in heat exchangers of the oil and gas industry	9
<i>Bardakova E.A.</i> Factors influencing the nature of the consequences of flooding of mine workings of liquidated mines of the Donetsk coal basin	14
<i>Manukyan M.M.</i> Improving the methodological approach to assessing the effectiveness of energy-saving measures at oil and gas enterprises	20
AGRICULTURAL ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY	
<i>Islamov M.N., Ibragimova L.R.</i> Research and development of technology for extracting tartaric acid compounds from wine-making waste using electromembrane technologies	26
<i>Sultanov Yu.M., Maisarova E.D.</i> Investigation of thermal degradation products of cane biomass in nitrogen environment	33
ELECTRONICS, PHOTONICS, INSTRUMENT ENGINEERING AND COMMUNICATIONS	
<i>Shershnev S.I., Vaganov M.A.</i> Application of 3D printing technology for the design of microwave path elements	38
MECHANICAL ENGINEERING	
<i>Ryabicheva L.A., Babich I.N.</i> Study of the strength and microhardness of nanostructured copper obtained by equal-channel angular pressing	45
TRANSPORT SYSTEMS	
<i>Musaeva P.M.</i> Prospects for the development of transport and logistics integration at the level of the Republic of Daghestan	50
Rules for writing and submitting articles	58

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

Editorial team:

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

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

All materials received by the editors subject to review.

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

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

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

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

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

Tel.: +7 (8722) 62 37 15

E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

САМОХОДНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Р.Р. Саттаров, А.В. Махиянов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

450044, Россия, г. Уфа, ул. Первомайская, 14

sattar.rb@gmail.com

Аннотация. Нефтегазовая отрасль является неотъемлемой частью единой энергетической системы. Для транспортировки энергоресурсов используются различные по своим характеристикам трубопроводы. Для постоянной и бесперебойной работы трубопроводов необходимо качественное техническое обслуживание и диагностика неисправностей, согласно соответствующей документации. В данной статье проводится обзор известных самоходных устройств для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов.

Ключевые слова: дефектоскоп, диагностика, маневренность, нефтегазовый трубопровод, самоходное устройство, техническое состояние.

Abstract. The oil and gas industry is an integral part of the unified energy system. Pipelines of various characteristics are used to transport energy resources. For the constant and uninterrupted operation of pipelines, high-quality maintenance and fault diagnosis are necessary, according to the relevant documentation. This article provides an overview of known self-propelled devices for diagnosing various faults in oil and gas pipelines.

Key words: flaw detector, diagnostics, maneuverability, oil and gas pipeline, self-propelled device, technical condition.

Введение

Безопасность и эффективность эксплуатации магистральных нефтепроводов и газопроводов – одна из главных задач для предприятия нефтегазотранспортного сектора. Чтобы узнать техническое состояние труб в магистральной используют диагностические приборы и методики. Диагностика магистральных нефтепроводов и газопроводов – это работы, направленные на получение информации об образовавшихся дефектах в трубах. Статистика показывает, что подавляющее количество повреждений появляются в результате коррозии и механического воздействия. Определить место и характер изъянов трубы практически невозможно. Вскрытие магистрального трубопровода для его обследования с помощью визуальных методов экономически нецелесооб-

разно. Даже при демонтаже магистральных нефтепроводов и газопроводов без специальных приборов можно обследовать только внешнюю сторону.

Диагностика нефтегазопроводов с помощью специальных устройств

Значительная протяженность магистральных нефтепроводов и газопроводов, а также малодоступность тех местностей, где они пролегают, делают невозможным использование методов неразрушающего контроля технического состояния трубопроводного транспорта [1, 2]. Однако для надежных и бесперебойных поставок нефти и газа нужно сохранять параметры труб. Оценить реальное состояние трубопровода возможно с помощью внутритрубной диагностики, с помощью кото-

рой анализируется внутренняя и наружная поверхность трубы. Такой метод предоставляет возможность своевременно определять повреждения магистральных трубопроводов для нефти и газа.

Для каждого трубопровода разрабатывается программа диагностирования, основанная на результатах мониторинга технической документации. План или техническое задание на обследование включает описание: направления диагностики; способов проведения работ; методов исследования.

Магистральные трубопроводы – это труднодоступные, технологически неделимые, подземные сооружения, поэтому изучение технической документации – важный этап диагностических мероприятий. Для эффективного обследования трубы на всей протяженности должны иметь одинаковый диаметр, все линейные участки должны быть проходимыми.

Для обследования металлических труб из стали и её сплавов в процессе диагностики магистральных трубопроводов используется наиболее информативный метод внутритрубного анализа состояния – магнитный. Он проводится с применением инспекционных приборов. Данный метод позволяет обнаружить и определить вид, локализацию и масштаб трещин, повреждений, вмятин и других дефектов трубы.

Методика диагностики технического состояния трубопроводов основана на фиксации рассеивания, которое образуются в процессе намагничивания стенок. Поток вектора магнитной индукции остаётся стабильным на участках трубы без повреждений, но при обнаружении дефекта, магнитный поток рассеивается. Такое изменение фиксируется датчиком, а специальный прибор вычисляет по зафиксированным показателям рассеивания, насколько поврежден магистральный трубопровод.

В процессе внутритрубной диагностики участвуют несколько спецустройств:

- очистной скребок – специальное приспособление, которое очищает внутреннюю поверхность труб от смолистого, твёрдого и парафиносодержащего налёта и отложений. Также скребок удаляет посторонние предметы с ферромагнитными свойствами. Очистное устройство помещается в трубопровод и про-

двигается по нему за счёт потока рабочей среды. По мере продвижения скребков очищает внутренние стенки труб;

- магнитный поршень (очистной) – после прохождения скребка, запускается очистной поршень. Инспекционный прибор также помещается в магистральный трубопровод, двигается по нему вместе с потоком перекачиваемого вещества. По мере продвижения, поршень толкает мусор впереди себя и проводит тонкую, более тщательную очистку внутренней поверхности трубы;

- профилемер – измерительный снаряд, определяющий внутреннюю геометрию и проходимость магистральной трубы;

- дефектоскопы – за счет применения как продольного, так и поперечного намагничивания, такие приборы более эффективно и точно обнаруживают различные повреждения трубы. В том числе незаконные врезки и дефекты сварных швов.

Вместе с дефектоскопами продольного и поперечного намагничивания часто применяется навигатор. Это необходимо для точной привязки обнаруженного дефекта к координатам на местности. Также методы диагностики трубопроводов могут включать ультразвуковое обследование.

Актуальным также является моделирование работ по внутритрубной дефектоскопии технологических трубопроводов сложной конфигурации самоходными роботами-дефектоскопами. Выполнение таких работ позволит четко сформулировать требования к характеристикам проходимости и запасу хода таких устройств для каждого конкретного объекта [3].

Предлагаемые самоходные устройства для диагностики

Для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов предлагается использовать различные типы самоходных устройств, интегрированных со встроенной системой видеонаблюдения и специализированными датчиками измерения различных параметров окружающей среды (рисунок 1). Рассмотрим некоторые известные самоходные устройства, встречающихся для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов [4].



Рисунок 1 – Самоходное устройство для диагностики трубопровода

Известно самоходное устройство для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов, показанное на рисунке 2 [5].

Самоходное устройство содержит основной Г-образный магнитопроводящий блок 1, к которому прикреплен немагнитный упор 2. Две поперечные пружины 3 и две продольные пружины 4, выполняющие роль упругих эле-

ментов, с одной стороны зафиксированы на немагнитном упоре 2, а с другой – присоединены к вспомогательному Г-образному магнитопроводящему блоку 5. На основном Г-образном магнитопроводящем блоке 1 намотана катушка 6. Самоходное устройство внешней поверхностью вспомогательного блока 5 расположено на горизонтальной плоскости 7, с возможностью перемещения по ней.

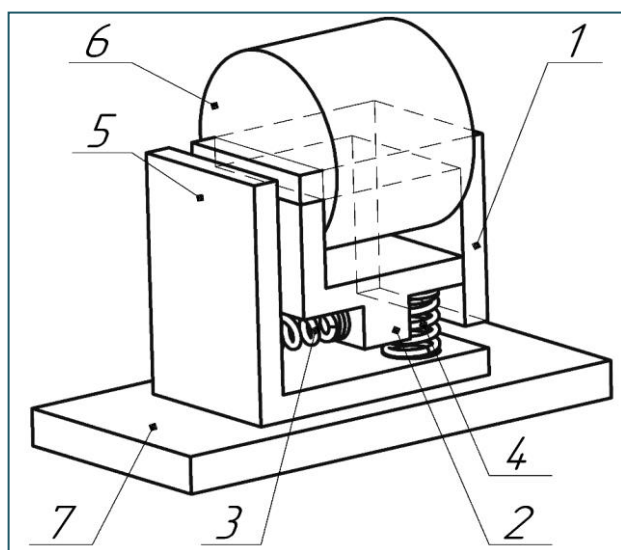


Рисунок 2 – Самоходное устройство для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов:

- 1 – основной Г-образный магнитопроводящий блок,
- 2 – немагнитный упор,
- 3 – две поперечные пружины,
- 4 – две продольные пружины,
- 5 – вспомогательный Г-образный магнитопроводящий блок,
- 6 – катушка,
- 7 – горизонтальная плоскость

Самоходное устройство работает следующим образом. В начальный момент времени пружины не сжаты, ток в обмотке отсутствует. При возрастании тока в обмотке 6 возрастают

электромагнитные силы притяжения и продольные пружины 3 и поперечные пружины 4 сжимаются. При этом сила давления со стороны самоходного устройства на опорную по-

верхность 7, а, следовательно, и сила трения между вспомогательным Г-образным магнитопроводящим блоком 5 и поверхностью 7, по которой устройство перемещается, уменьшается из-за вертикальной составляющей электромагнитной силы, которая притягивает вспомогательный Г-образный магнитопроводящий блок к основному Г-образному магнитопроводящему блоку 1. Сила трения имеет направление, противоположное горизонтальной составляющей электромагнитной силы, и устройство незначительно перемещается в сторону вспомогательного Г-образного магнитопроводящего блока. Однако центр масс практически не меняет своего положения, так как на основание действует минимальная сила трения.

Далее ток в обмотке 6 уменьшается, электромагнитные силы притяжения уменьшаются, вследствие чего продольные пружины 4 и поперечные пружины 3 разжимаются. При этом сила давления, а, следовательно, и сила тре-

ния между вспомогательным Г-образным магнитопроводящим блоком 5 и поверхностью, по которой устройство перемещается, возрастает из-за силы упругости поперечных пружин. Разжимание продольных пружин приводит к отталкиванию основного Г-образного магнитопроводящего блока от вспомогательного Г-образного магнитопроводящего блока, так как на вспомогательный Г-образный магнитопроводящий блок действует максимальная сила трения, и все устройство сдвигается в сторону основного Г-образного магнитопроводящего блока. Так как сила давления и трения максимальны, то центр масс всего устройства существенно смещается в сторону основного Г-образного магнитопроводящего блока. Далее ток в обмотках возрастает и цикл повторяется.

Также известно маневренное самоходное устройство со сменной фрикционной накладкой для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов, изображенное на рисунке 3 [6].

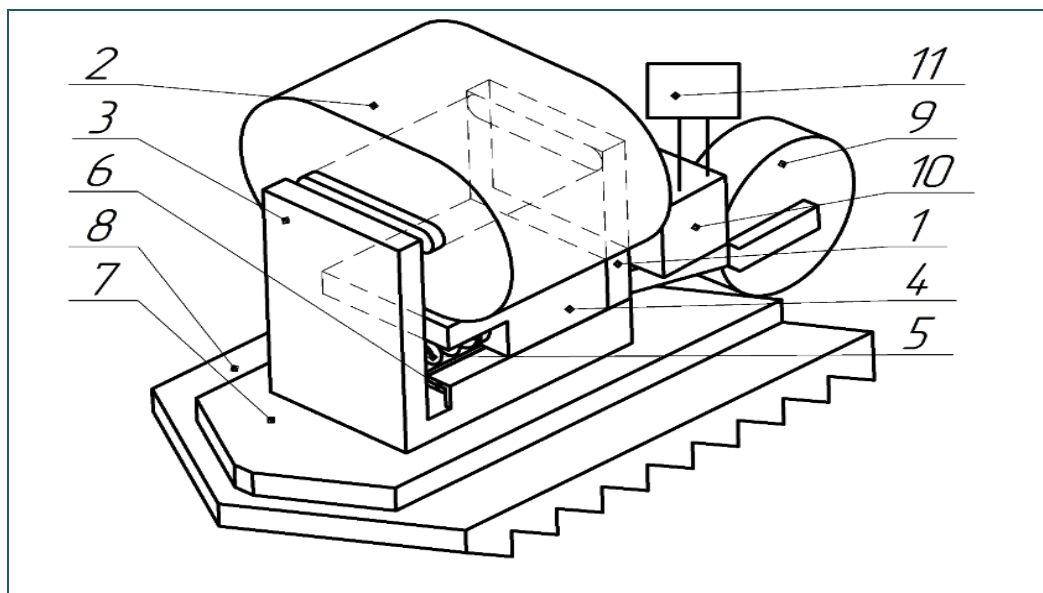


Рисунок 3 – Маневренное самоходное устройство со сменной фрикционной накладкой для внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов: 1 – основной Г-образный магнитопроводящий блок, 2 – катушка, 3 – вспомогательный Г-образный магнитопроводящий блок, 4 – немагнитный упор, 5 – упругие элементы, 6 – направляющие, 7 – V-образная пластина, 8 – зубчатая фрикционная накладка, 9 – колесо, 10 – привод управления, 11 – система управления

Маневренное самоходное устройство со сменной фрикционной накладкой для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов содержит основной Г-образный магнитопроводящий блок 1 с катушкой

2, вспомогательный Г-образный магнитопроводящий блок 3, немагнитный упор 4, который посредством упругих элементов 5 и направляющих 6 подвижно соединен со вспомогательным Г-образным магнитопроводящим

блоком 3 и жестко соединен с основным Г-образным магнитопроводящим блоком 1, V-образную пластину 7, с закрепленной на ней зубчатой фрикционной накладкой 8, колесо 9 с приводом управления 10 для задания направления движения, систему управления 11. Жестко соединенные немагнитный упор 4 и основной Г-образный магнитопроводящий блок 1 с катушкой 2 могут двигаться в продольной плоскости по направляющим 6, вдоль вспомогательного Г-образного магнитопроводящего блока 3, при подаче напряжения на катушку 2.

Маневренное самоходное устройство со сменной фрикционной накладкой для диагностики различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов, работает следующим образом. В начальный момент времени пружины 5 не сжаты, ток в обмотке 2 отсутствует. При возрастании тока в обмотке 2 возрастают электромагнитные силы притяжения, и пружины 5 сжимаются. При этом зубчатая фрикционная накладка 8 воздействует на поверхность с большой силой зацепления (направленной вправо на рисунке 3). За счет этого фрикционная накладка 8 и V-образная пластина 7 практически остаются на месте, а основной Г-образный блок 1 с катушкой 2 перемещаются к вспомогательному Г-образному блоку 3 (влево на рисунке 3). Таким образом, центр тяжести

смещается в сторону противоположную наклону зубцов пластины.

Далее напряжение и ток в обмотке 2 уменьшается, электромагнитные силы притяжения уменьшаются, вследствие чего пружины 5 разжимаются. При этом сила зацепления фрикционнойкладки 8 с поверхностью минимальна. Поэтому V-образная пластина 7 с фрикционной накладкой 8 и вспомогательный Г-образный блок 3 смещаются друг от друга, но центр тяжести практически остается на месте. Далее ток в обмотках возрастает и цикл повторяется. Таким образом, устройство совершает один шаг в направлении противоположном наклону зубцов (влево на рисунке 3).

Заключение

Таким образом, заявляемые самоходные устройства имеют высокую маневренность и эффективность при диагностике различных неисправностей нефтегазовых трубопроводов. Интегрировав самоходные устройства со встроенной системой видеонаблюдения и специализированными датчиками измерения различных параметров окружающей среды, можно проводить высококачественные и детальные обследования различных нефтегазопроводов, в том числе и сложной технологической конфигурации.

Библиографический список

1. Дмитриевский А.Н., Камаева С.С., Черников А.Д., Еремин Н.А. Бесконтактная диагностика нефтегазопроводов: состояние и перспективы развития // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 1 (20). С. 11-14.
2. Арискин И.В. Анализ робототехнических устройств, предназначенных для внутритрубной диагностики // Политехнический молодежный журнал. 2019. № 9 (38). С. 1-9.
3. Будзуляк А.С., Лопатин А.С., Ляпичев Д.М. Техническое диагностирование оборудования и трубопроводов объектов нефтегазового комплекса с применением инновационных технологий // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. № 11 (556). С. 21-26.
4. Sattarov R.R. Electromagnetic worm-like locomotion system for in-pipe robots: novel design of magnetic subsystem / R.R. Sattarov, M.A. Almaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 2019. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. P. 1-7.
5. Пат. 197208 Российская Федерация, МПК В 62 D 57/00, F 16 L 55/26 Самоходное устройство для движения внутри трубопровода [Текст] / Саттаров Р.Р., Махиянов А.В., Ярмеев С.В.; заявитель и патентообладатель ГО ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет». № 2020100570; заявл. 09.01.2020; опубл. 13.04.2020, Бюл. № 11. 6 с.
6. Пат. 204957 Российская Федерация, МПК7 В 62 D 57/00, F 03 G 3/00, G 01 N 29/265. Маневренное самоходное устройство со сменной фрикционной накладкой [Текст] / Саттаров Р.Р., Махиянов А.В., Ярмеев С. В.; ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». № 2021101075; заявл. 19.01.2021; опубл. 21.06.2021, Бюл. № 18. 7 с.

Referenses

1. Dmitrievskij A.N., Kamaeva S.S., Chernikov A.D., Eremin N.A. Beskontaktnaya diagnostika neftegazoprovodov: sostoyanie i perspektivy razvitiya // Aktual'nye problemy nefti i gaza. 2018. № 1 (20). S. 11-14.
2. Ariskin I.V. Analiz robototekhnicheskikh ustrojstv, prednaznachennyh dlya vnutritrubnoj diagno-stiki // Politekhnikeskij molodezhnyj zhurnal. 2019. № 9 (38). S. 1-9.
3. Budzulyak A.S., Lopatin A.S., Lyapichev D.M. Tekhnicheskoe diagnostirovanie oborudovaniya i truboprovodov ob'ektov neftegazovogo kompleksa s primeneniem innovacionnyh tekhnologij // Avtomatizaciya, telemekhanizaciya i svyaz' v neftyanoj promyshlennosti. 2019. № 11 (556). S. 21-26.
4. Sattarov R.R. Electromagnetic worm-like locomotion system for in-pipe robots: novel design of magnetic subsystem / R.R. Sattarov, M.A. Almaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 2019. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. P. 1-7.
5. Pat. 197208 Rossijskaya Federaciya, MPK B 62 D 57/00, F 16 L 55/26 Samohodnoe ustrojstvo dlya dvizheniya vnuti truboprovoda [Tekst] / Sattarov R.R., Mahiyarov A.V., Yarmeev S.V.; zayavitel' i patentobladatel' GO VPO «Ufimskij gosudarstvennyj aviacionnyj tekhnicheskij universitet». № 2020100570; zayavl. 09.01.2020; opubl. 13.04.2020, Byul. № 11. 6 s.
6. Pat. 204957 Rossijskaya Federaciya, MPK7 B 62 D 57/00, F 03 G 3/00, G 01 N 29/265. Manyovrennoe samohodnoe ustrojstvo so smennoj frikcionnoj nakladkoj [Tekst] / Sattarov R.R., Mahiyarov A.V., Yarmeev S. V.; FGBOU VO «Ufimskij gosudarstvennyj aviacionnyj tekhnicheskij universitet». № 2021101075; zayavl. 19.01.2021; opubl. 21.06.2021, Byul. № 18. 7 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 11.07.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 21.07.2023

Принята к публикации / Accepted 22.08.2023

© P.P. Sattarov, A.V. Mahiyarov, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Саттаров Роберт Радилович – доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и электрооборудования предприятий Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Robert Sattarov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technological University.

Махиянов Артур Валерьевич – аспирант кафедры электротехники и электрооборудования предприятий Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Artur Makhiyanov – Postgraduate Student of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technical University.

Ссылка для цитирования: *Саттаров P.P., Махиянов A.V.* Самоходные устройства для технического обслуживания и диагностики неисправностей нефтегазопроводов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 3 - 8. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-3-8.

For citation: *Sattarov R.R., Makhiyanov A.V.* Self-propelled devices for maintenance and troubleshooting of oil and gas pipelines // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 3 - 8. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-3-8.

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

И.Е. Лобанов

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

Аннотация. В работе рассматриваются аспекты теоретической модели интенсифицированного теплообмена в областях присоединения потока при турбулентном течении в каналах с турбулизаторами на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии для открытых впадин и для относительно больших и малых высот турбулизаторов. Соответствие расчётных данных и существующих экспериментальных хорошее. Теория может быть использована при расчёте теплоотдачи в точке присоединения турбулентного пограничного слоя, например, для условий течений в трубах с турбулизаторами, применяемых в теплообменных аппаратах, эксплуатируемых в нефтегазовом деле.

Ключевые слова: баланс, моделирование, присоединение, поток, пульсационный, теплообмен, турбулентный, энергия.

Abstract. The paper considers aspects of a theoretical model of intensified heat transfer in the areas of flow attachment during turbulent flow in channels with turbulators based on the equation of balance of turbulent pulsating energy for open depressions and for relatively high and low heights of turbulators. The correspondence of the calculated data and the existing experimental data is good. The theory can be used to calculate the heat transfer at the point of attachment of a turbulent boundary layer, for example, for flow conditions in pipes with turbulators used in heat exchangers used in the oil and gas industry.

Key words: balance, modeling, connection, flow, pulsation, heat transfer, turbulent, energy.

Введение

В различных областях техники широко применяются различного рода теплообменники, в которых, в результате интенсификации теплообмена, может быть достигнуто снижение их массогабаритных показателей при заданных значениях теплового потока, гидравлических потерь, расходов и температур теплоносителей. В ряде случаев задачей является снижение температурного уровня поверхности теплообмена при фиксированных режимных и конструктивных характеристиках.

Расчётные методы исследования интенсификации теплообмена при турбулентном течении в трубах разработаны ещё недостаточно. Часто они опираются на упрощённые модели сложных физических явлений, при

этом допущения приводят к значительной разнице между расчётными и экспериментальными данными.

Моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах с турбулизаторами для открытых впадин и относительно малых высот турбулизаторов очень важно, поскольку именно в этой области имеет место высокий уровень интенсификации теплообмена при относительно незначительном повышении гидравлического сопротивления [4].

В этом случае имеет место отрыв и присоединение потока.

Ранее данный подход применялся для решения задачи о предельном теплообмене при турбулентном течении в каналах за счет

турбулизации потока [2, 3].

Ранее в смысле генерирования обобщённой теории рассматривались турбулизаторы потока, высота которых меньше или равна толщине пристенного слоя [2, 5, 6, 7]. В рамках настоящего научного исследования рассматриваются аспекты теории интенсифицированного теплообмена, которая была бы применима и к турбулизаторам больших высот, в том числе, больше пристенного слоя.

Теоретическая модель для расчёта интенсифицированного теплообмена в точке присоединения турбулентного пограничного слоя

Уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии для рассматриваемого случая будет иметь следующий вид [3, 10]:

$$\frac{a}{y} k \sqrt{k} - b \frac{d}{dy} \left(y \sqrt{k} \frac{dk}{dy} \right) - \frac{\tau}{\rho} \frac{dw_x}{dy} = 0, \quad (1)$$

где $\overline{w'_x}$, $\overline{w'_y}$, $\overline{w'_z}$ – компоненты пульсационной составляющей скорости.

Дифференциальное уравнение относительно кинетической энергии пульсационного движения будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{a}{y} k \sqrt{k} - \frac{m^2 y}{c \sqrt{k}} - b \left(\sqrt{k} \frac{dk}{dy} + \frac{y}{2 \sqrt{k}} \left(\frac{dk}{dy} \right)^2 + y \sqrt{k} \frac{d^2 k}{dy^2} \right) = 0 \quad (2)$$

Последнее дифференциальное уравнение является нелинейным, поэтому представляется оптимальным в области присоединения потока (а также в области присоединённого пограничного слоя, лежащего от собственно области присоединения до полностью развитого течения) принять линейный характер изменения кинетической энергии пульсационного движения:

$$k(y) = \frac{2m}{\sqrt{4ca - 6bc}} y \quad (3)$$

В данном исследовании рассматривается двуслойная схема турбулентного потока: турбулентное ядро потока и область непосредственного влияния вязкости. Число Стентона, отнесённое к среднему температурному напору, детерминируем на осно-

вании известного соотношения, используемого для расчёта интенсифицированного теплообмена [2; 3; 4, 10]:

$$St = \frac{\left[\frac{T_w - T_{\max}}{T_w - \overline{T}} \right] \frac{\nu}{\overline{w_x} y_0}}{\int_0^{y_1} \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{\nu_T}{\nu}} d\left(\frac{y}{y_0}\right)} \quad (4)$$

В данном исследовании используем двуслойную схему потока, поэтому интеграл, входящий в (4), можно записать следующим образом:

$$St = \frac{\left[\frac{T_w - T_{\max}}{T_w - \overline{T}} \right] \left(\frac{16}{c} \right)^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{y_1}{D} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\sqrt{k_1}}{w_x} \right)^{\frac{2}{3}} Re^{-\frac{1}{3}}}{\int_1^{\frac{y_1}{y_0}} \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{\nu_T}{\nu}} d\left(\frac{y}{y_0}\right) + \int_0^1 \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{\nu_T}{\nu}} d\left(\frac{y}{y_0}\right)} \quad (5)$$

где Pr – число Прандтля; Pr_T – турбулентное число Прандтля; ν – кинематическая вязкость [1, 2, 8, 10].

Далее необходимо детерминировать интегралы, входящие в (5), как для вязкого подслоя, так и для турбулентного ядра потока.

Для вязкого подслоя вышеуказанный интеграл будет равен:

$$\int_0^1 \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{\nu_T}{\nu Pr_T}} d\left(\frac{y}{y_0}\right) = \int_0^1 \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{1}{Pr_T} 614 \left(\frac{y}{y_0}\right)^4} d\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (6)$$

Возможно и альтернативное эквивалентное решение для интеграла (6), основанное на использовании гипергеометрической функции (функции Гаусса):

$$\int_0^1 \frac{1}{\frac{1}{Pr} + \frac{\nu_T}{\nu Pr_T}} d\left(\frac{y}{y_0}\right) = Pr \cdot F\left(1, \frac{1}{4}; \frac{5}{4}; -614 \frac{Pr}{Pr_T}\right), \quad (7)$$

где $F(a, b; c; z) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \prod_{l=0}^{k-1} \frac{(a+l)(b+l)}{(1+l)(c+l)} z^k$ – гипергеометрическая функция.

Сравнение теоретических расчётных данных по теплообмену в точке присоединения турбулентного пограничного слоя с экспериментальными удобнее сделать так же, как это сделано в работах [1, 2, 4, 8, 10]. Сходные условия теплообмена имеют место для теплообмена в задней критической точке при поперечном обтекании цилиндра [1, 2, 4, 8, 10]:

$$St = 0,1 \left(\frac{\bar{w}_x D_{Ц}}{\nu} \right)^{-\frac{1}{3}} = 0,1 Re_D^{-\frac{1}{3}} \quad (8)$$

где \bar{w}_x – скорость набегающего потока; $D_{Ц}$ – диаметр цилиндра.

Значения $\frac{\sqrt{k_0}}{w_x}$ и $\frac{\sqrt{k_1}}{w_x}$ на границах вязкого подслоя и турбулентного ядра соответственно детерминируется так же, как и в работах [2, 5, 6, 7, 9], поскольку вышеуказанные зависимости имеют широкую общность:

$$\frac{\sqrt{k_1}}{w_x} = 2 \sqrt{\frac{\xi}{8}} \frac{1 + \ln\left(\frac{h}{R} \frac{Re}{10} \sqrt{\frac{\xi}{8}}\right)}{\left(1 - \frac{h}{R}\right)^2} \quad (9)$$

где $R = D/2$ – радиус трубы ($h/R = 1 - d/D$, d – диаметр диафрагмы), Re – число Рейнольдса, ξ – коэффициент сопротивления трению. В

работах [4, 8, 10] приводится формула по $\frac{\sqrt{k_1}}{w_x}$ в области присоединения турбулентного пограничного слоя, основанная на обобщении экспериментальных данных для диапазона $Re = 10^4 \div 10^5$:

$$\frac{\sqrt{k_1}}{w_x} = 0,266 \left(\frac{d}{D} \right)^{-2} \quad (10)$$

Использованная в данном исследовании закономерность является более обоснованной и сложной, чем использованная в [2, 5, 6, 7, 9], что обуславливает её преимущественное применение.

Сравнение сгенерированной теории с экспериментом [1, 4] оптимальнее всего провести для тех условий, для которых было проведено сравнение для других математических моделей [2, 5, 6, 7, 9] – для $Re = 10^4$ и $h/R = 0,0632$ – $\frac{\sqrt{k_1}}{w_x} = 0,304$ число Стентона составляет $St = 4,579 \cdot 10^{-3}$, в то время как на основании эксперимента [1, 4] – $St_{Э} = 4,642 \cdot 10^{-3}$; ошибка составляет порядка 1,5%, в то время как ошибка расчётной модели, представленной в [4], составила порядка 19% [1, 4].

Следовательно, сгенерированная в данном научном исследовании теоретическая модель для расчёта интенсифицированного теплообмена в точке присоединения турбулентно-

го пограничного слоя практически на порядок точнее существующей [4], однако полученные в работе окончательные расчётные зависимости гораздо сложнее существующих [4, 10], что неважно при современном уровне развития вычислительной техники.

Выводы

В исследовании сгенерирована теоретическая модель на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии, позволяющая теоретическим образом детерминировать интенсифицированный теплообмен при турбулентном течении в каналах с турбулизаторами для большого диапазона высот турбулизаторов в области присоединения турбулентного пограничного слоя.

Показано, что решение уравнения баланса турбулентной энергии для расчёта теплообмена в каналах со сложной гидрогазодинамикой, в том числе, в точке присоединения турбулентного пограничного слоя, является прогрессивным направлением в теории интенсифицированного конвективного теплообмена, поскольку оно позволяет получить надёжные расчётные методики в тех случаях, когда име-

ет место нарушение аналогии Рейнольдса.

Разработанная теория указывает на то, что необходима дальнейшая работа в направлении её развития и перехода от двуслойной модели потока к трёхслойной, которая позволит детерминировать теплообмен в точке присоединения турбулентного пограничного слоя в более широком диапазоне определяющих параметров и с большей точностью, чем для существующих моделей.

Решение теоретической задачи о теплообмене в области присоединения турбулентного пограничного слоя обуславливает потенциальное решение задачи о теплообмене и для всей области после присоединения турбулентного пограничного слоя (присоединённый пограничный слой): от точки присоединения турбулентного пограничного слоя вплоть до полностью развитого течения (до стабилизированного течения).

Теория может быть использована при расчёте теплоотдачи в точке присоединения турбулентного пограничного слоя, напр. для условий течений в трубах с турбулизаторами, применяемых в теплообменных аппаратах, эксплуатируемых в нефтегазовом деле.

Библиографический список

1. Таунсенд А.А. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом. М.: Изд. иностранной литературы, 1959. 399 с.
2. Лобанов И.Е. Моделирование предельного изотермического теплообмена при турбулентном течении в каналах за счет турбулизации потока на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках: труды XV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева. М.: МЭИ, 2005. Т.1. С. 99-102.
3. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
4. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987. 263 с.
5. Лобанов И.Е. Применение уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии для математического моделирования интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами // Авиакосмическое приборостроение. 2011. № 5. С. 19-24.
6. Лобанов И.Е. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Материалы IX международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2012), 25-31 мая 2012 г., Алушта. М.: Изд. МАИ, 2012. С. 245-247.
7. Лобанов И.Е. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами на основе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Отраслевые аспекты технических наук. 2012. № 5. С. 7-14.
8. Гинзбург И.П. Теория сопротивления и теплопередачи. Л.: ЛГУ, 1970. 375 с.
9. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Т. IV. Специальные аспекты математического моделирования гидрогазодинамики, теплообмена, а

также теплопередачи в теплообменных аппаратах с интенсифицированным теплообменом. М.: МГАКХиС, 2011. 343 с.

10. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергоатомиздат, 1985. 320 с.

Referenses

1. Taunsend A. A. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом. М.: Изд. иностранной литературы, 1959. 399 с.

2. Lobanov I.E. Моделирование предельного изотермического теплообмена при турбулентном течении в каналах за счет турбулизации потока на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: труды XV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева. М.: MEI, 2005. Т.1. С. 99-102.

3. Kutateladze S.S. Основы теории теплообмена. М.: Atomizdat, 1979. 416 с.

4. Migaj V.K. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987. 263 с.

5. Lobanov I.E. Применение уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии для математического моделирования интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами // Авиационное приборостроение. 2011. № 5. С. 19-24.

6. Lobanov I.E. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами на базе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Материалы IX международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2012), 25-31 мая 2012 г., Алешта. М.: Изд. МАИ, 2012. С. 245-247.

7. Lobanov I.E. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами на основе уравнения баланса турбулентной пульсационной энергии // Отраслевые аспекты технических наук. 2012. № 5. С. 7-14.

8. Ginzburg I.P. Теория сопротивления и теплопередачи. Л.: LGU, 1970. 375 с.

9. Lobanov I.E., SHtejn L.M. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Т. IV. Специальные аспекты математического моделирования гидродинамики, теплообмена, а также теплопередачи в теплообменных аппаратах с интенсифицированным теплообменом. М.: МГАКХиС, 2011. 343 с.

10. Kutateladze S.S., Leont'ev A.I. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергоатомиздат, 1985. 320 с.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 19.08.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 09.09.2023

Принята к публикации / Accepted 23.09.2023

© И.Е. Лобанов, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Лобанов Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Igor Lobanov – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher at the Moscow Aviation Institute (National Research University).

Ссылка для цитирования: *Лобанов И.Е.* Развитие теоретической модели интенсифицированного теплообмена в области присоединения потока при турбулентном течении в теплообменных аппаратах нефтегазовой отрасли // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 9 - 13. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-9-13.

For citation: *Lobanov I.E.* Development of a theoretical model of intensified heat exchange in the field of flow connection during turbulent flow in heat exchangers of the oil and gas industry // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 9 - 13. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-9-13.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ХАРАКТЕР ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТ ДОНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Е.А. Бардакова

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, Донецк
283004, Россия, г. Донецк, Киевский район, ул. Челюскинцев, 291
bardakova-kgr@mail.ru

Аннотация. В статье поставлена задача определения безопасного уровня затопления горных выработок, что необходимо для обеспечения безаварийной эксплуатации объектов наземной инфраструктуры, рассмотрены основные факторы, влияющие на характер оседания земной поверхности. Приведены базовые зависимости изменения гидрогеологических показателей в различных горно-геологических условиях. Установлено влияние глубины на показатели проницаемости и фильтрации горного массива.

Ключевые слова: активизация процесса сдвижения, вынимаемая мощность, горно-геологические условия, горный массив, депрессионная воронка, коэффициент пустотности, подземные воды.

Abstract. The article sets the task of determining the safe level of flooding of mine workings, which is necessary to ensure trouble-free operation of ground infrastructure facilities, and considers the main factors influencing the nature of subsidence of the earth's surface. The basic dependences of changes in hydrogeological indicators in various mining and geological conditions are given. The influence of depth on the permeability and filtration of the rock massif has been established.

Key words: activation of the displacement process, extractable power, mining and geological conditions, mountain range, depression funnel, void ratio, groundwater.

В настоящее время массовая ликвидация угледобывающих предприятий привела к изменению гидрогеологического режима в массиве горных пород и его физико-механических свойств. Это, в свою очередь, сказывается на земной поверхности и на смежных действующих угольных предприятиях.

На сегодняшний день одним из злободневных вопросов является определение безопасного уровня затопления горных выработок, что необходимо для обеспечения безаварийной эксплуатации объектов наземной инфраструктуры.

В результате длительного времени угледобычи произошли необратимые техногенные изменения состояния горного массива. Последствия нового техногенного режима подземных вод при затоплении шахт в большин-

стве случаев являются негативными и не всегда предсказуемыми, к таковым относятся:

- повреждение зданий и промышленных объектов;
- загрязнение подземных и поверхностных вод, используемых для нужд населения;
- возникновение и расширение новых мест загрязнения подземных вод и грунтов (пестицидами);
- подтопление и затопление подработанных территорий;
- активизация процесса сдвижения земной поверхности вследствие подъема пьезометрического уровня, увлажнение и возобновление процесса обрушения горных пород, что приводит к нарушению состояния подработанного массива;

- образование оползней и провалов, которые связаны с обводнением горных пород и снижением их прочностных свойств.

Становится очевидным, что особое значение имеет обоснование прогноза продолжительности времени затопления горных выработок шахт, который необходим для своевременного принятия мер защиты, а также для безопасного ведения горных работ на смежных действующих шахтах, и предотвращение от затопления и подтопления земной поверхности.

Прогноз сдвижения и деформации земной поверхности в результате активизации геомеханических процессов при затоплении производится на основании нормативных документов и отраслевых стандартов [1, 2, 3]. Как видно из формул (1, 2), вычисление оседаний от затопления производится по стандартной методике определения оседаний при подработке, с заменой в формуле определения максимальных оседаний вынимаемой мощности на остаточную [1, 2]:

$$\eta_m = q_0 m_0 \cos \alpha N_1 N_2 \quad (1)$$

где q_0 – относительная величина максимального оседания, безразмерная величина; m_0 – остаточная мощность пласта или эффективная мощность пласта при работе с закладкой выработанного пространства, м; α – угол падения пласта в пределах очистной выработки, градус; N_1, N_2 – условные коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности, соответственно вкрест простирания и по простиранию, безразмерные величины.

Остаточная мощность при этом вычисляется согласно [3] как умножение пяти коэффициентов на выемочную мощность:

$$m_0 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot m_e \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от степени метаморфизма углей (угли марки А – $K_1 = 1,0$; угли марок ТС, Т, ОС, КС, КЖ, К, Ж – $K_1 = 0,8$; угли марок ГЖС, ГЖ, Г, ДГ, Д – $K_1 = 0,6$); K_2 – коэффициент, зависящий от последующих подработок горной выработки нижележащими

пластами ($K_2 = 1,0$, если выработка не была подработана; $K_2 = 0,8$, если выработка подработана одним пластом; $K_2 = 0,5$, если выработка была подработана двумя и более пластами); K_3 – коэффициент, зависящий от наличия пустот и зон разуплотнений (принимается по результатам дополнительных исследований); K_4 – коэффициент, зависящий от обводнённости горных пород ($K_4 = 0,5$, если горные выработки затоплены, и $K_4 = 1,0$, если горные выработки не затоплены); K_5 – коэффициент, зависящий от глубины горных работ ($K_5 = 1,0$ если $H < 100$ м, $K_5 = 0,5$ при H в пределах 101-200 м, $K_5 = 0,3$ при H в пределах 201-300 м, $K_5 = 0,1$ при H в пределах 300-500 м, если $H > 500$ м, $K_5 = 0$); m_b – вынутая мощность пласта, м [3].

Как видно из формулы (2), в методике [3] не установлены граничные условия определения коэффициента K_3 . Согласно экспериментальным данным этот коэффициент может варьироваться в существенных пределах, в зависимости от степени подработанности горного массива и других факторов (литологический тип залегающих горных пород, наличие тектонических нарушений, глубина).

В зависимости от величины коэффициента K_3 , расчетная остаточная мощность может изменяться в несколько раз.

Верификация полученных результатов может производиться на основании конечно-элементного моделирования, приведенного в [4].

Анализ наблюдений за скоростью поднятия шахтных вод (рисунок 1) при затоплении горных выработок шахт «Постниковская» и «Шахтерская» позволяет сделать вывод, что существующая методика прогноза времени затопления несовершенна.

Результаты прогноза могут отличаться от фактических в 1,5-2 раза, что связано с несовершенством определения коэффициента пустотности и отсутствием четкого алгоритма его вычисления [5].

При этом прогноз времени затопления осуществляется согласно методике [6] по формуле:

$$t_i = \frac{k_3 \cdot V_i}{Q_{cp} - \sum q_i} \quad (3)$$

где k_3 – коэффициент заполнения объема горных выработок; V_i – объем горных выработок в интервале затопления; $Q_{ср.}$ – средняя величина водопритока в шахту для рассматриваемого

интервала затопления; $\sum q_i$ – средняя величина общего перетока из шахты в смежные для заданного интервала глубины.

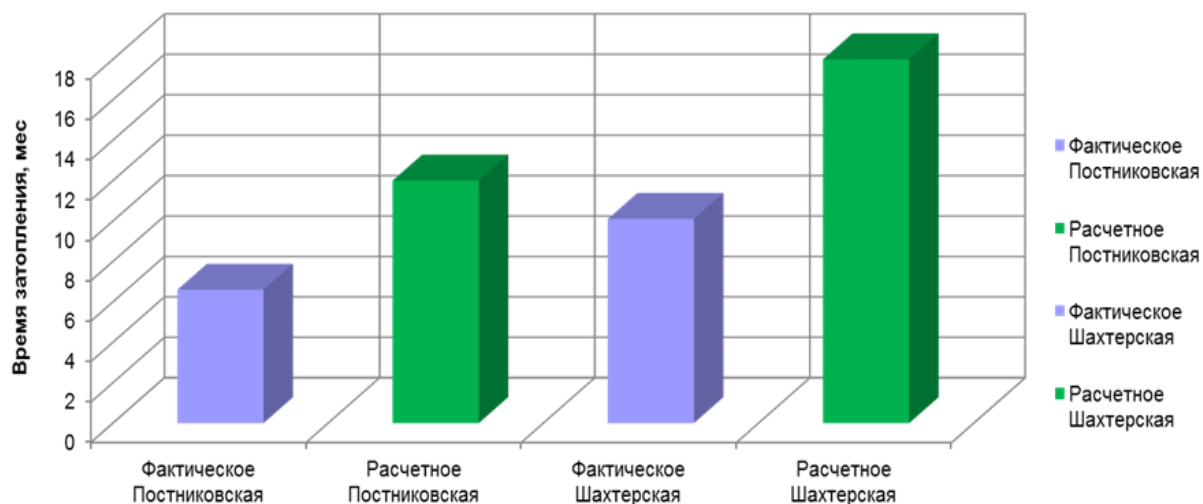


Рисунок 1 – Расчетные и фактические данные времени затопления шахт «Постниковская» и «Шахтерская»

Как показывают исследования на гидронаблюдательных станциях шахты «Брянковская» в Стахановском регионе [7], затопление горного массива происходит неравномерно, а абсолютная отметка затопления в пределах

шахтного поля может варьироваться в существенных пределах, что подчеркивает неравномерность распределения пустотности в массиве (рисунок 2).

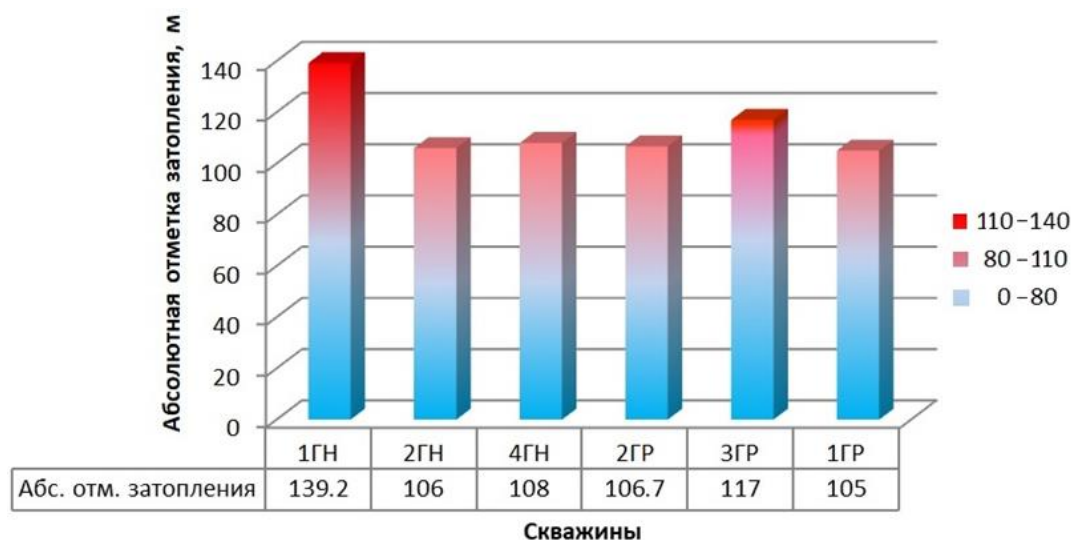


Рисунок 2 – Изменение уровня воды по гидронаблюдательным скважинам шахты «Брянковская»

Кроме того, неравномерное распределение подъема шахтных вод в пределах горного отвода может обосновываться расположением наблюдательной скважины в различных участках депрессионной воронки. Существуют ме-

тодики, по которым определяют радиус депрессионной воронки [8]. Для безнапорных вод используют формулу Кусакина:

$$R = 2 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot K_{\phi}} \quad (4)$$

где S – величина понижения уровня, м; H – мощность слоя грунтовых вод, м; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации слоя, м/сут.

Для напорных вод радиус влияния можно определить по формуле Зихардта:

$$R = 10 \cdot S \cdot \sqrt{K_{\phi}}, \quad (5)$$

где S – величина понижения уровня, м; K_{ϕ} – коэффициент фильтрации слоя, м/сут.

На основании анализа приведенных формул (2) и (3) можно сделать вывод, что коэффициент пустотности (заполнения) является одним из основных параметров не только для определения времени затопления, но и для определения величины сдвижения земной поверхности при затоплении горных выработок.

Ввиду такого значительного влияния данного коэффициента на величину остаточной мощности актуальной научно-технической задачей является поиск зависимостей для возможности аналитического определения коэффициента K_3 .

Параметр пустотности (K_3) тесно взаимосвязан с такими гидрогеологическими поняти-

ями как коэффициент проницаемости $k_{пр}$ и коэффициент пористости $k_{пор}$.

При этом коэффициент проницаемости, является расчетной величиной, которая может определяться согласно формуле:

$$k_{пр} = \frac{K_{\phi} \cdot (\mu \cdot 1000)}{\alpha \cdot \gamma}, \quad (6)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с; α – коэффициент размерности; если K выражен в сантиметрах в секунду, то $\alpha = 1$; если в метрах в сутки, то $\alpha = 864$; γ – удельная масса воды, $1 \cdot 10^3$ кг/м³ [9].

Все параметры, используемые для вычисления коэффициента проницаемости, могут существенно варьироваться в различных горно-геологических условиях. Пример влияния глубины на динамический коэффициент вязкости жидкости приведен на рисунке 3.

В то же время, для определения характера распространения подземных вод в массиве определяющим параметром является коэффициент фильтрации. Его зависимость от глубины представлена на рисунке 4.

Динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с

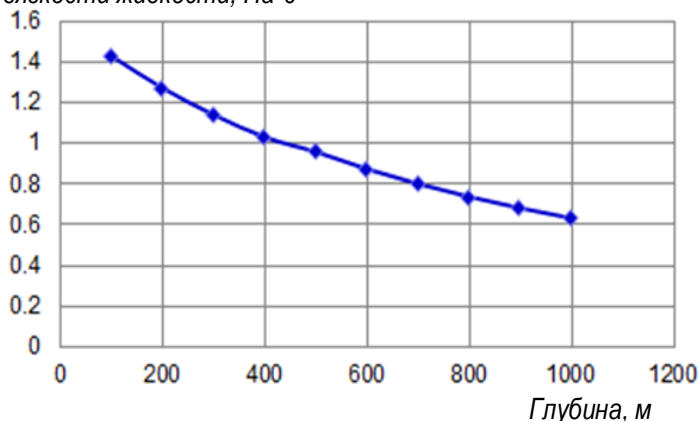
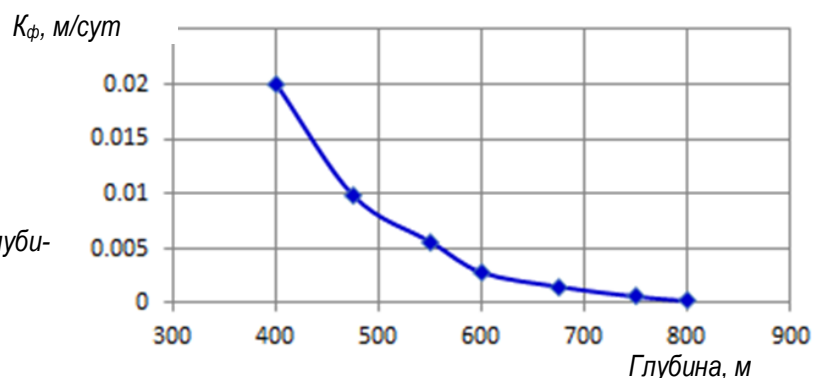


Рисунок 3 – Зависимость динамического коэффициента вязкости жидкости от глубины

Рисунок 4 – Зависимость коэффициента фильтрации от глубины



На основании изложенного можно сделать вывод, что учитывая изменение с глубиной параметров, определяющих проницаемость, следует учитывать влияние глубины на величину коэффициента пустотности K_3 . Кроме того следует отметить тесную взаимосвязь проницаемости с фильтрационными характе-

ристиками, которые также могут изменяться с глубиной. Получение эмпирических или аналитических зависимостей изменения этих параметров с увеличением глубины позволит существенно повысить качество прогноза деформаций земной поверхности и скорости затопления горных выработок.

Библиографический список

1. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. Киев: Минтопэнерго Украины, 2004. 127 с.
2. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. Утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 16 марта 1998 г. № 13. М.: Межотраслевой научный центр ВНИМИ, 1998. 203 с.
3. КД 12-12.004-98. Ликвидация угольных шахт, защита земной поверхности от затопления горных выработок. Рекомендации. Донецк: УкрНИМИ. 1998. 46 с.
4. Голубев Ф.М. Методика прогноза оседеаний земной поверхности при затоплении угольных шахт // Журнал теоретической и прикладной механики. 2019. № 4(69). С. 65-71.
5. Питаленко Е.И., Артеменко П.Г., Педченко С.В., Ягмур А.Б. (2007). Время затопления шахт: прогноз и факт. Научные труды УкрНИМИ РАН Украины. 2007. Т.1, С. 165–172.
6. Гавриленко Ю.Н., Ермакова В.Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт: монография. Донецк, 2004. 631 с.
7. Черникова С.А. Разработка методики прогноза уровня подземных вод по данным маркшейдерского мониторинга затопляемых шахт Алмазно-Марьевского региона Донбасса // Научные труды Донецкого национального технического университета. Вып. 45. Донецк: ДНТУ, 2002. С. 36-40.
8. Мурашова Е.Г. Основы гидрогеологии: учебное пособие. Благовещенск: Изд. ДальГау, 2013. 143 с.
9. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки: Утв. Министерством энергетики и электрификации СССР 01.01.1981. М.: Энергоиздат, 1981. 142 с.

Referenses

1. GSTU 101.00159226.001-2003. Pravila podrobotki zdanij, sooruzhenij i prirodnyh ob"ektov pri dobyche uglja podzemnym sposobom. Kiev: Mintopenergo Ukrainy, 2004. 127 s.
2. PB 07-269-98. Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnyh gornyh razrobotok na ugol'nyh mestorozhdeniyah. Utv. Postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 16 mar-ta 1998 g. № 13. M.: Mezhotraslevoj nauchnyj centr VNIMI, 1998. 203 s.
3. KD 12-12.004-98. Likvidaciya ugol'nyh shaht, zashchita zemnoj poverhnosti ot zatopeniya gornyh vy-rabotok. Rekomendacii. Doneck: UkrNIMI. 1998. 46 s.
4. Golubev F.M. Metodika prognoza osedeaniy zemnoj poverhnosti pri zatopenii ugol'nyh shaht // Zhurnal teoreticheskoj i prikladnoj mekhaniki. 2019. № 4(69). S. 65-71.
5. Pitalenko E.I., Artemenko P.G., Pedchenko S.V., Yagmur A.B. (2007). Vremya zatopeniya shaht: prognoz i fakt. Nauchnye trudy UkrNIMI RAN Ukrainy. 2007. T.1, S. 165–172.
6. Gavrilenko YU.N., Ermakova V.N. Tekhnogennye posledstviya zakrytiya ugol'nyh shaht: monografiya. Doneck, 2004. 631 s.
7. Chernikova S.A. Razrobotka metodiki prognoza urovnya podzemnyh vod po dannym markshejder-skogo monitoringa zataplivaemyh shaht Almazno-Mar'evskogo regiona Donbassa // Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Vyp. 45. Doneck: DNTU, 2002. S. 36-40.
8. Murashova E.G. Osnovy gidrogeologii: uchebnoe posobie. Blagoveshchensk: Izd. Dal'Gau, 2013. 143 s.
9. Rukovodstvo po opredeleniyu koefficienta fil'tracii vodonosnyh porod metodom opytnoj ot-kachki: Utv. Ministerstvom energetiki i elektrifikacii SSSR 01.01.1981. M.: Energoizdat, 1981. 142 s.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 05.09.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 20.09.2023

Принята к публикации / Accepted 22.09.2023

© Е.А. Бардакова, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Бардакова Елена Александровна – ведущий инженер Республиканского академического научно-исследовательского и проектно-конструкторского института горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (Донецк).

Elena Bardakova – Leading Engineer of the Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Surveying (Doneck).

Ссылка для цитирования: *Бардакова Е.А.* Факторы, влияющие на характер последствий затопления горных выработок ликвидируемых шахт Донецкого угольного бассейна // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 14 - 19. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-14-19.

For citation: *Bardakova E.A.* Factors influencing the nature of the consequences of flooding of mine workings of liquidated mines of the Donetsk coal basin // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 14 - 19. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-14-19.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

М.М. Манукян

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С. П. Королева (Самарский университет), Самара
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34
marinaarm89@mail.ru

Аннотация. Даны рекомендации совершенствования методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазового комплекса. Делаются выводы, которые имеют решающее значение для дальнейшего прогресса в исследованиях технологий нефтепереработки. Раскрывается эффективность использования новых нефтяных технологий. В статье также выделяются особенности основных методов повышения нефтеотдачи, анализируются преобладающие механизмы вытеснения нефти в процессах повышения нефтеотдачи. Делаются выводы о снижении минимального давления смешивания, которое приводит к повышению эффективности охвата по сравнению с другими методами смешивания газов.

Ключевые слова: деэмульгация, кислый газ, методический подход, нефте - и газоотдача, полимерное заводнение, скважина, технология, энергосберегающее мероприятие, эмульсия, эффективность.

Abstract. Recommendations are given for improving the methodological approach to assessing the effectiveness of energy-saving measures at oil and gas enterprises. Conclusions are drawn that are critical for further progress in petroleum refining technology research. The effectiveness of using new oil technologies is revealed. The article also highlights the features of the main methods of enhanced oil recovery and analyzes the prevailing mechanisms of oil displacement in enhanced oil recovery processes. Conclusions are drawn that a reduction in the minimum mixing pressure leads to increased sweep efficiency compared to other gas mixing methods.

Key words: demulsification, acid gas, methodological approach, oil and gas recovery, polymer flooding, well, technology, energy-saving measure, emulsion, efficiency.

Введение

Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазового комплекса является важной задачей, которая позволяет определить эффективность внедрения и использования таких мероприятий. Для совершенствования методического подхода к оценке эффективности можно использовать следующие рекомендации:

1. Учет всех факторов, влияющих на результат. Перечень факторов включает в себя как экономические (снижение затрат на энергию, повышение прибыли), так и экологиче-

ские факторы (снижение выбросов вредных веществ).

2. Использование стандартных методов оценки, таких как расчет экономического эффекта (возвратности инвестиций, срок окупаемости), расчет экологического эффекта (снижение выбросов, сокращение потребления ресурсов).

3. Применение современных технологий в виде моделирования и симуляции процессов, анализа больших данных и машинного обучения.

4. Мониторинг и контроль. После внедрения энергосберегающих мероприятий необходимо осуществлять постоянный мони-

торинг и контроль их эффективности. Это позволит своевременно выявить возможные проблемы и принять меры по их устранению.

5. Применение системного подхода, учитывая взаимосвязь различных факторов и компонентов предприятия. Это позволит более полно оценить эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий.

Совершенствование методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазового комплекса позволит более точно оценить их эффективность и принять обоснованные решения по их внедрению. Это поможет снизить затраты на энергию и улучшить экологическую ситуацию.

Передовые технологии добычи нефти

На сегодняшний день происходят постоянные усилия и исследования в направлении эффективных и действенных передовых технологий добычи и разведки нефти. Существует большое количество разработок в области применения ультразвука (УЗ) для деэмульсации и повышения нефтеотдачи, крупнообъемного гидроразрыва пласта и специальных горизонтальных скважин для добычи сланцевой нефти и газа, трехмерной сейсмической визуализации. Например, третичная добыча нефти с помощью методов увеличения нефтеотдачи значительно выросла за последние десятилетия. Этот рост можно объяснить тем, что после вторичной добычи нефти остается 60–67% сырой нефти. Так, в международном энергетическом агентстве, количество коммерческих проектов по увеличению нефтеотдачи увеличилось с 237 в 1996 году до 375 в 2017 году. Это устойчивое расширение привело к увеличению общей добычи нефти с 1,5 млн баррелей в сутки в 2005 году до 2,3 млн баррелей в сутки в 2020 году.

Прогнозируется, что в 2040 году этот показатель увеличится примерно до 4,7 млн баррелей в сутки, что составляет около 4% от общего объема добычи. Хотя в этих технологиях для добычи нефти используются термические, химические и газовые технологии из-за их преимуществ, они часто сталкиваются с неудачами из-за проблем при их

использовании. Термические методы увеличения нефтеотдачи создают серьезные экологические проблемы и используют большие запасы пресной воды для производства пара. Выброс загрязняющих веществ, таких как оксиды азота, серы и двуокись углерода от сжигания бензина (13–14,9 кг CO₂ галлон-1) или сырой нефти (10,5–13 кг CO₂ галлон-1) во время использования термических методов увеличения нефтеотдачи является основным недостатком этой технологии.

При этом для добычи единицы объема нефти требуется 2–10 объемов пресной воды при паровых операциях. Аналогичная проблема ухудшения состояния окружающей среды возникает при использовании химических методов повышения нефтеотдачи. А метод для CO₂ сталкивается с проблемами коррозии и потенциальными утечками из трубопроводов и оборудования. Технологии ультразвука использовались в сочетании с этими методами повышения нефтеотдачи для дальнейшего повышения их эффективности. Ультразвуковые нефтяные технологии обладают технической эффективностью, экономическими и экологическими преимуществами, что делает их потенциальным решением проблем, возникающих при добыче нефти. Есть несколько отчетов, в которых подчеркивается улучшение нефтеотдачи, обезвоживания эмульсий вода-в-нефти и лечение повреждений пласта, вызванных неорганическими солями, органическими отложениями, пробками бурового раствора, конденсатом, твердым парафином и коллоидными частицами за последнее десятилетие.

В полевом исследовании, проведенном Абрамовым и его сотрудниками, средняя скорость добычи нефти на Самотлорском нефтяном месторождении была увеличена на 75% с использованием 27 скважин. Аналогичные улучшения коэффициента извлечения нефти на 20–75 % были показаны в нескольких лабораторных и полевых исследованиях. Также были отмечены разработки в области обезвоживания эмульсий воды в масле с эффективностью разделения от 20 до 95% [1].

В связи с этими значительными разработками и многочисленными результатами

исследований в области технологий добычи нефти в США, которые за последнее десятилетие постоянно расширялись, существует необходимость в подробном обзоре, в котором освещаются прогресс, проблемы, а также перспективы развития методов увеличения нефтеотдачи.

Кроме того, существуют некоторые особые условия, которые повысили эффективность обезвоживания, и важно подчеркнуть эти достижения. Например, Рончи и др. заметили, что использование колец Рашига в акустической камере улучшает отделение масла от воды. Кроме того, было описано, что металлические кольца, такие как медь и сталь, обладают лучшими характеристиками деэмульгирования по сравнению с органическими кольцами, такими как поливинилхлорид и полипропилен.

В своем исследовании А. О. Эзат, А. М. Атта, Х. А. Аль-Лохедан, М. М. Абдулла, А. И. Хашем провели дегидратацию трех средних сырых нефтей (сырая нефть 020, 030 и 040) с различной концентрацией солей с использованием статической трубы объемом 100 см³. Они заметили, что чем больше содержание соли в сырой нефти, тем лучше отделяется вода от нефти. Исследование деэмульгации сырой нефти комбинированным методом ультразвука и химического деэмульгатора показало, что при высокой температуре равновесная эффективность деэмульгирования сонохимия увеличивается с повышением температуры. Эти выводы имеют решающее значение для дальнейшего прогресса в исследованиях технологий.

Рассмотрим эффективность использования новых нефтяных технологий.

Образование эмульсий при добыче сырой нефти неизбежно. Резервуары добычи сырой нефти обычно имеют значительное количество пластовой воды, которая может достигать 90% и добывается вместе с нефтью в виде смеси. Кроме того, вода используется при бурении и добыче нефти, и использование воды становится более значительным при заводнении при повышении нефтеотдачи и с увеличением возраста коллектора. Наличие этих двух несмешивающихся жидкостей, турбулентность, создавае-

мая течением через суженные поры в пласте, штуцеры на устье скважины и наземные сооружения, амфифильные поверхностно-активные вещества в виде асфальтенов, смол, парафинов, минеральных отложений, продуктов коррозии, глина и поверхностно-активные вещества для повышения нефтеотдачи, такие как полимеры и щелочь, приводят к получению очень стабильных нефтяных эмульсий. Стабильные эмульсии бывают типа вода-в-масле, масло-в-воде, вода-в-масле-в-воде, масло-в-масле [2]. Однако в основном встречается тип в виде эмульсий вода-в-масле. Эти эмульсии часто вызывают проблемы при добыче, транспортировке, хранении и очистке. Они вызывают падение давления и последующее увеличение затрат на перекачку из-за их высокой вязкости. Кроме того, эмульсии могут приводить к засорению, коррозии и эрозии трубопроводов при транспортировке и отравлению катализаторами в процессе нефтепереработки.

Существует множество исследований, в которых сообщалось о деэмульгации сырой нефти. Подходы, которые использовались в процессе деэмульгирования, включают биологические, химические и физические разделения. Хотя биологическое разделение с помощью бактерий или синтетических агентов обеспечивает лучшие экологические преимущества по сравнению с химическими деэмульгаторами, процесс разделения занимает значительное время, что может привести к нарушению добычи нефти.

Физическое разделение, такое как естественное осаждение под действием силы тяжести, также связано с увеличением времени деэмульгирования нефти. Другие процессы физического обезвоживания включают электростатический, мембранный, термический и ультразвуковой. Различные технологии физической деэмульгации имеют экологические преимущества по сравнению с химической дегидратацией. Однако они сталкиваются с различными техническими проблемами.

Электростатическая деэмульгация сталкивается с проблемами при обработке эмульсий с различными свойствами, таких как эмульсии сырой нефти с высоким исход-

ным содержанием воды. Нагрев и постоянное увеличение плотности сырой нефти при термическом деэмульгировании может привести к ликвидации легких фракций сырой нефти и отрицательному влиянию на гравитационное оседание.

Мембраны часто подвергаются загрязнению, что приводит к уменьшению потока, сокращению срока службы, дорогостоящему обслуживанию и последующему повреждению мембраны. Ультразвуковая деэмульгация масляных эмульсий потенциально может решить многие проблемы, с которыми сталкиваются другие технологии, либо при использовании в качестве интегрированного дополнения, либо как автономное.

В настоящее время эффективность извлечения нефти из скважин составляет лишь менее 40%. Существующие технологии для повышения нефтеотдачи часто являются энерго- и трудоемкими и, зачастую, неэкологичными. Таким образом, есть большой интерес к модификации устоявшихся методов и разработка новых технологий. Это особенно важно в случае новых типов горизонтальных скважин, которые, как правило, имеют более высокий дебит, чем традиционные (вертикальные) типы, поскольку они добывают нефть из ряда подземных источников, через которые они проходят. В Западной Сибири и Поволжье одним из основных подходов к восстановлению аварийных нефтяных скважин является использование химической обработки, которая полезна для устранения засоров. Хотя этот метод хорош для традиционных колодцев, он показал себя неэффективным в случае горизонтальных скважин из-за того, что химические реагенты, закачиваемые через устье скважины, часто не доходят до зон вдоль горизонтальной части, которые необходимо обработать.

В последние годы возрос интерес к физическим методам увеличения нефтеотдачи, особенно к тем, которые основаны на ультразвуковых обработках. В частности разработан метод, который включает ультразвуковую обработку в зоне перфорации ствола скважины с одновременным созданием зоны пониженного давления в этой зоне.

Методы увеличения нефтеотдачи

В настоящее время применяются следующие методы увеличения нефтеотдачи:

1. Среди всех термических методов повышения нефтеотдачи, наиболее предпочтительными являются процессы впрыска горячей воды или пара из-за их простоты, что приводит к основным предсказуемым результатам.

Основными механизмами вытеснения нефти в этих процессах повышения нефтеотдачи являются:

- снижение межфазного натяжения, изменение смачиваемости, снижение вязкости и тепловое расширение. По мере увеличения плотности масла увеличивается значимость снижения вязкости и изменения смачиваемости, тепловое расширение уменьшается. Однако следует отметить, что в то время как методы впрыска горячей воды или пара имеют ряд преимуществ по сравнению со многими термическими методами увеличения нефтеотдачи, они не могут быть применены в некоторых резервуарах, в которых, например, пар нельзя использовать из-за значительной глубины коллектора. В этих случаях альтернативой является сжигание на месте. Добываемая нефть очищается на месте, вызывая снижение вязкости нефти, уменьшение содержания серы и тяжелых металлов [2].

2. Вытеснение нефти паром – метод увеличения нефтеотдачи пластов, наиболее распространенный при вытеснении высоковязких нефтей. В этом процессе пар нагнетают с поверхности в пласты с низкой температурой и высокой вязкостью нефти через специальные паронагнетательные скважины, расположенные внутри контура нефтеносности.

Механизм извлечения нефти из пласта, при нагнетании в него перегретого пара, основывается на изменениях свойств нефти и воды, содержащихся в пласте, в результате повышения температуры. С повышением температуры вязкость нефти, ее плотность и межфазовое отношение понижаются, а упругость паров повышается, что благоприятно влияет на нефтеотдачу. Увеличению нефтеотдачи также способствуют процессы испарения углеводородов за счет снижения их

парциального давления. Снижение парциального давления связано с наличием в зоне испарения паров воды. Из остаточной нефти испаряются легкие компоненты и переносятся к передней границе паровой зоны, где они снова конденсируются и растворяются в нефтяном валу, образуя оторочку растворителя, которая обеспечивает дополнительное увеличение нефти. При температуре 375°C и атмосферном давлении может дистиллироваться (перегоняться) до 10% нефти плотностью 934 кг/м³ [3].

При паротепловом воздействии в пласте образуются три характерные зоны:

- зона вытеснения нефти паром;

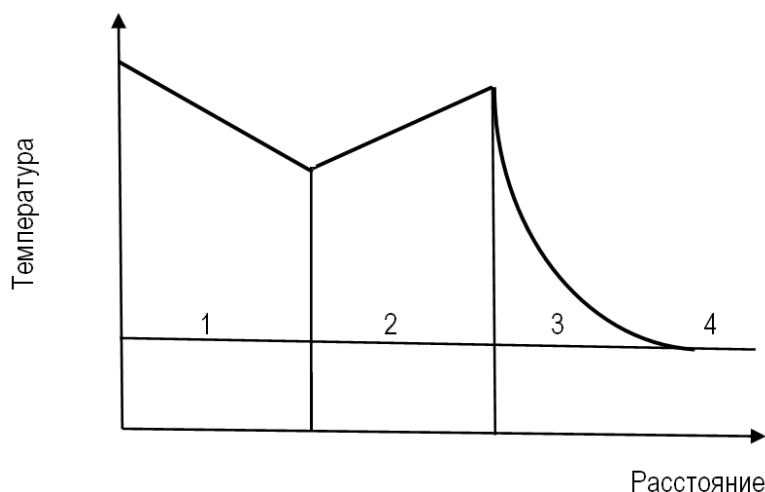


Рисунок – Схема распределения температуры в пласте при нагнетании в него водяного пара. Зоны: 1 – перегретого пара; 2 – насыщенного пара; 3 – горячего конденсата; 4 – остывшего конденсата

3. Полимерные заводнения. Цель – увеличить объемную эффективность развертки (в макроскопическом масштабе), добавив полимер в закачиваемую жидкость, и увеличение вязкости закачиваемой жидкости (мкД), что снижает коэффициент подвижности. Другим эффектом является снижение вязкой аппликации и снижение относительной проницаемости, особенно, в слоях с высокой проницаемостью, получая более равную проводимость через резервуар. Следовательно, высокопроницаемые зоны становятся более устойчивыми к закачиваемому флюиду и, следовательно, он отклоняется на слои с более низкой проницаемостью, обеспечивающие более высокую эффективность охвата.

4. Заводнение смешанным кислым газом. Сернистый газ определяется как газ, который содержит значительные количества H_2S , как правило, более 5,7 мг H_2S/m^3 природного газа

- зона горячего конденсата, где реализуется механизм вытеснения нефти водой в неизотермических условиях;

- зона, не охваченная тепловым воздействием, где происходит вытеснение нефти водой пластовой температуры.

Указанные зоны различаются по температуре, распределению насыщенности жидкости и механизму вытеснения нефти из пласта. Процессы, происходящие в каждой из этих зон, испытывают взаимное влияние.

На рисунке представлена схема распределения температуры в пласте при нагнетании в него водяного пара.

(эквивалентно приблизительно 4 ppm). При определенных температурах и давлениях этот газ смешивается с маслом в бачке. Из-за смешивания высокосернистого газа с нефтью вытеснение нефти достигается за счет снижения межфазного натяжения.

По сравнению с другими методами закачки газа (закачка бессернистого газа или CO_2) закачка высокосернистого газа приводит к большей вязкости (μD) и плотности (ρD), увеличению капиллярного числа и уменьшению в соотношении мобильности за счет уменьшения силы тяжести. Это происходит из-за более низкого минимального давления смешиваемости высокосернистого газа.

Снижение минимального давления смешивания (*minimum miscibility pressure-MMP*) приводит к повышению эффективности охвата по сравнению с другими методами смешивания газов. Дополнительные преимущества

этого метода включают пластовое давление, техническое обслуживание, снижение потребности в хранении высокосернистого газа и уменьшения затрат по сравнению с удалением серы.

Заключение

Совершенствование методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий в предприятиях нефтегазового комплекса является важным шагом для определения их реальной эффективности. Для этого необходимо учитывать все факторы, которые могут повлиять на результат, включая экономические и экологические показатели.

Для оценки эффективности можно ис-

пользовать стандартные методы расчета экономического и экологического эффекта. Однако для более точной оценки можно применять современные технологии, такие как моделирование и анализ больших данных.

После внедрения мероприятий необходимо осуществлять постоянный мониторинг и контроль за их эффективностью.

Совершенствование методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий позволит определить их влияние на предприятие и принять обоснованные решения по их внедрению. Это поможет снизить затраты на энергию и улучшить экологическую ситуацию в нефтегазовом комплексе.

Библиографический список

1. Афанасьев В.Я., Линник Ю.Н., Уколов В.Ф. Инновационный менеджмент в нефтегазовом комплексе: учебник для вузов. М: ГУУ, 2008. 277 с.
2. Крыжановская Г.С. Стратегическое планирование ресурсосбережения при эксплуатации объектов подземного хранения газа: автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб., 2013. 24 с.
3. Манукян М.М., Яшин С.Н. Ключевые инновационные технологии в российской нефтедобыче // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2021. Т. 12. № 1. С. 28- 36.

References

1. Afanas'ev V.Ya., Linnik Yu.N., Ukolov V.F. Innovacionnyj menedzhment v neftegazovom komplekse: uchebnyj dlya vuzov. M: GUU, 2008. 277 s.
2. Kryzhanovskaya G.S. Strategicheskoe planirovanie resursosberezheniya pri ekspluatatsii ob"ektov podzemnogo hraneniya gaza: avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk. SPb., 2013. 24 s.
3. Manukyan M.M., Yashin S.N. Klyuchevye innovacionnye tekhnologii v rossijskoj neftedobyche // Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie. 2021. T. 12. № 1. S. 28- 36.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
The author declare no conflicts of interests*

Дата поступления в редакцию / Received 18.09.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 24.09.2023

Принята к публикации / Accepted 28.09.2023

© М.М. Манукян, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Манукян Марине Мартиновна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики инноваций Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева.

Marine Manukyan – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Innovation Economics, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev.

Ссылка для цитирования: *Манукян М.М. Совершенствование методического подхода к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий в предприятиях нефтегазового комплекса // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 20 - 25. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-20-25.*

For citation: *Manukyan M.M. Improving the methodological approach to assessing the effectiveness of energy-saving measures at oil and gas enterprises // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 20 - 25. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-20-25.*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВИННОКИСЛЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ОТХОДОВ ВИНОДЕЛИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.Н. Исламов, Л.Р. Ибрагимова

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70
astrahvino@rambler.ru

Аннотация. Разработана рациональная технология утилизации отходов винодельческого производства, содержащих соли винной кислоты. Предложено использовать для извлечения тартратов из коньячной барды один из перспективных методов мембранного разделения жидких сред – электродиализ, основанный на переносе ионов через ионселективные мембраны под действием постоянного электрического тока в многокамерных аппаратах. Экспериментально установлены режимы проведения процесса. Обосновано, что предлагаемая технология утилизации вина может быть внедрена на коньячных заводах для эффективного решения проблемы использования вторичных ресурсов и снижения себестоимости основной продукции.

Ключевые слова: деионизация, ионселективные мембраны, концентрирование, коньячная барда (винас), мембранная технология, отходы винодельческого производства, тартраты, утилизация, электродиализ.

Abstract. A rational technology for recycling wine production waste containing tartaric acid salts has been developed. It is proposed to use one of the promising methods for membrane separation of liquid media to extract tartrates from cognac distillery – electro dialysis, based on the transfer of ions through ion-selective membranes under the influence of direct electric current in multi-chamber devices. The modes of the process were established experimentally. It is substantiated that the proposed wine waste recycling technology can be implemented at cognac factories to effectively solve the problem of using secondary resources and reducing the cost of main products.

Key words: deionization, ion-selective membranes, concentration, cognac stillage (vinas), membrane technology, wine waste, tartates, recycling, electro dialysis.

Введение

Винная кислота находит широкое применение в пищевой, фармацевтической, радиотехнической, химической, текстильной, полиграфической и других отраслях промышленности. Несмотря на то, что она содержится во многих растениях, пока только виноград является источником промышленного получения винной кислоты.

В вине тартраты представляют собой безвредные кристаллические отложения, которые отделяются от вина во время брожения и выдержки. Кристаллы винной кислоты образуют пирозлектрическими (приобретают электрический заряд при нагревании) и пьезоэлектрическими свойствами (приобретают электрический заряд при сжатии или расширении и меняют свой объем в электрическом поле). Эти свойства определяют некоторые виды

практического использования винной кислоты в электронной и электротехнической промышленности.

Учитывая, что работы по синтезу искусственной винной кислоты пока не дали желаемых результатов, основными источниками получения винной кислоты являются отходы винодельческого производства – выжимка, дрожжевые осадки, винный камень, коньячная барда [1].

В настоящее время в винодельческой промышленности для извлечения виннокислых соединений (ВКС) используются химические методы утилизации отходов [2]. Эти методы (кислотный и щелочной) имеют существенные недостатки, связанные с необходимостью применения большого количества химических реагентов, длительностью реакций, коррозией оборудования и т.д. Кроме того, получаемая затем из виннокислой извести кристаллическая винная кислота не соответствует экологическим нормам.

Для извлечения ВКС из вторичного сырья виноделия предложено также использовать ионообмен [3, 4]. Однако, данный метод не нашел широкого применения в производстве, вследствие малой технологичности процесса.

Метод электродиализа коньячной барды

Исследовали возможность использования для извлечения виннокислых соединений из коньячной барды и диффузионного сока, полученного при экстрагировании выжимок, метода электродиализа, который является наиболее эффективным электрохимическим мембранным способом разделения растворов без добавления химических реагентов [5, 6, 7, 8].

Предварительные исследования проводили на модельных растворах винной кислоты с концентрацией от 1 до 10 г/дм³. Было изучено влияние различных режимов электродиализной обработки на изменение концентрации винной кислоты ($C_{ВКС}$) в камерах деионизации и концентрирования, степень обессоливания деионизата (ΔC), активную кислотность (pH) и температуру (t) обрабатываемого раствора.

Режимы обработки варьировали регулированием плотности тока (J) в пределах 40 –

60 А/м² и удельной производительности электродиализа (Q) от 35 до 125 дм³/м² •ч.

При обработке растворы винной кислоты разбивали на два потока: первый циркулировал через камеры деионизации, второй – через камеры концентрирования.

Как видно из результатов исследования (таблица 1), наибольшая степень обессоливания (83,3%) достигается при плотности тока 60 А/м² и удельной производительности электродиализного аппарата 35 дм³/м² •ч.

Однако при указанном режиме происходит заметное повышение температуры до 30°C и снижение pH обрабатываемого раствора на 0,9 единиц, что свидетельствует о возникновении концентрационной поляризации на поверхности мембран в рабочих камерах электродиализа.

Как уже отмечалось, эффект концентрационной поляризации в мембранных системах объясняется увеличением величины плотности тока выше предельных значений [9]. Из-за различия скоростей миграции ионов в фазах раствора и мембраны, удаляемых под действием электрического тока из камер деионизации, происходит перенос через мембраны продуктов разложения воды: ионов H^+ и OH^- .

При электродиализе коньячной барды на поверхности мембран со стороны камер концентрирования образуется осадок, состоящий из кристаллов виннокислых солей. Поэтому в качестве оптимальной была принята величина плотности тока равная 50 А/м².

Таким образом, предварительные исследования на модельных растворах показали возможность концентрирования ВКС в промежуточных камерах с целью их последующего выделения из раствора при помощи охлаждения.

В дальнейшем обработке в электродиализном аппарате подвергали коньячную барду, полученную с коньячного завода. Исходную барду с содержанием винной кислоты 5,4 г/дм³ предварительно фильтровали при комнатной температуре, затем направляли двумя потоками для циркуляции соответственно в камерах деионизации и концентрирования электродиализного аппарата.

Таблица 1 – Влияние режимов электродиализной обработки на обессоливание модельных растворов винной кислоты

J, А/м ²	Q, $\frac{\text{дм}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	t, °С	рН	С _{ВКС} , г/дм ³		ΔС, %
				в деионизате	в концентрате	
0	-	21,5	3,38	5,4	5,4	0
40	125	22,0	3,38	3,9	6,7	27,8
	65	22,5	3,37	2,4	8,3	55,5
	35	23,5	3,37	1,3	9,5	75,9
50	125	22,0	3,38	3,8	6,9	29,6
	65	23,0	3,37	2,2	8,5	59,3
	35	24,5	3,36	1,0	9,7	81,5
60	125	23,0	3,36	3,8	6,9	29,6
	65	25,5	3,33	2,1	8,4	61,1
	35	30	3,29	0,9	9,5	83,3

Циркуляцию барды через камеры концентрирования проводили до достижения концентрации ВКС близкой к насыщенным растворам. Деионизат (коньячную барду) по мере обессоливания, примерно через каждый час обработки, заменялся свежей коньячной бардой.

Полученные результаты (таблица 2) показывают, что удельная производительность электродиализного аппарата для концентрирования виннокислых солей в барде должна составлять около 6 дм³/м²·ч, что соответствует шести ступеням концентрирования.

Таблица 2 – Изменение содержания ВКС в концентрате при электродиализе коньячной барды

Ступени концентрирования	Q, $\frac{\text{дм}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	С _{ВКС} , г/дм ³		ΔС, %	Выход по току, %
		в деионизате	в концентрате		
0	-	5,4	5,4	0	0
I	35,0	1,2	9,6	77,8	79,4
II	17,5	1,2	13,8	77,8	79,4
III	11,7	1,2	17,9	77,8	79,4
IV	8,75	1,3	21,9	75,9	77,5
V	7,0	1,4	25,6	74,1	75,6
VI	5,8	1,6	29,0	70,4	71,8

Концентрация ВКС при этом достигает 29 – 31 г/дм³. Величины выхода по току и степени обессоливания деионизата имеют достаточно высокие значения – более 70%. При дальнейшем концентрировании в камерах концентрирования происходит выпадение ВКС, что снижает эффективность процесса и отрицательно влияет на свойства мембран.

После охлаждения полученного концентрата до – 1 ÷ – 2 °С в присутствии кристаллической винной кислоты происходит быстрое осаждение виннокислых соединений в виде

мелких кристаллов, которые легко отделяются при фильтровании.

Таким образом, удается извлечь из коньячной барды до 70 – 75% виннокислых соединений. Проведенные исследования позволили разработать принципиально новую технологическую схему утилизации отходов виноделия с целью извлечения ВКС, в основу которой положен метод электродиализа.

В соответствии с разработанной технологической схемой, коньячную барду, получаемую на перегонных установках с температурой

75 – 80°C, сначала накапливают в вертикальных сборниках, в которых она в течение 18 – 24 часов самоохлаждается и осветляется от взвесей. Далее барда фильтруется на матерчатом фильтр-прессе. Для лучшего осветления рекомендуется использовать польгорскита с дозировкой 1 г/дм³.

После осветления барда с содержанием винной кислоты 0,5 – 0,7 % подвергается электродиализной обработке с целью концентрирования ВКС в промежуточных камерах до состояния насыщения. Полученный концентрат направляют на охлаждение до – 1 ÷ – 2 °С, при добавлении небольшого количества кристаллической винной кислоты. Через 1,5 – 2 суток образовавшийся осадок ВКС отделяют и сушат. Фильтрат и деионизат можно объединить и использовать для производства безалкогольных напитков, вместо умягченной воды.

Предлагаемая технология утилизации коньячной барды рекомендуется для внедрения на коньячных заводах для эффективного решения проблемы использования вторичных ресурсов и снижения себестоимости основной продукции.

Такую же технологическую схему можно использовать при утилизации виноградных выжимок с целью извлечения виннокислых соединений из диффузионного сока после экстрагирования выжимок.

Как уже отмечалось, недостатком способа экстрагирования выжимок является длительность процесса, необходимость больших затрат энергии для предварительного нагрева воды, а также использования химических реагентов (серной кислоты) для регулирования кислотности экстрагента.

Технология извлечения ВКС с применением электромембранных технологий

Разработана более эффективная и принципиально новая технология утилизации отходов виноделия (рисунок), основанная на применении электромембранных технологий. Для извлечения ВКС по предлагаемой технологии в качестве экстрагента используют электрохимически активированную воду (ЭХА-вода). Электрохимическую активацию воды проводят в анодной камере проточного электрохимического реактора 3 с нерастворимыми электро-

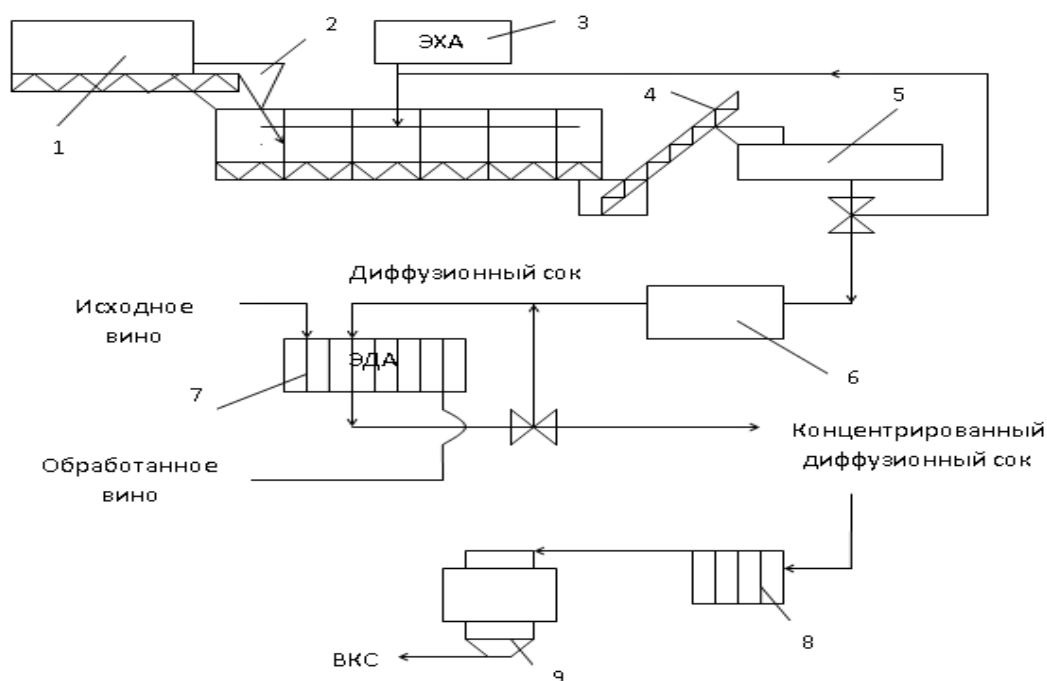


Рисунок – Технологическая схема извлечения ВКС с использованием ЭХА-воды и электродиализа

дами до достижения pH 2,8 – 3,2 и редокс-потенциала 600 – 800 мВ относительно хлор-серебряного электрода сравнения.

Виноградную выжимку с содержанием виннокислых соединений 0,75 – 0,85 % и влажностью 50 – 55 % из накопительного бункера 1 подают в экстрактор непрерывного действия 2, в котором выжимки экстрагируются электрохимически активированной водой. Экстракцию ведут при соотношении твердой и жидкой фаз 1:(1-2) при температуре 20-25 °С.

После экстрагирования выжимку с помощью транспортера 4 направляют на пресс 5 и фильтрующую центрифугу 6 для отделения диффузионного сока в количестве, равном количеству добавленного к выжимке экстрагента. Диффузионный сок, содержащий 380 – 440 мг/л ВКС, подают в камеры концентрирования электродиализного аппарата 7. В продуктовые камеры этого же аппарата направляют нестойкое к кристаллическим помутнениям вино, содержащее в избытке ВКС.

В процессе электродиализа при плотности тока 60 – 80 А/м² и удельной производительности аппарата 180 – 250 дм³/м²·час происходит снижение содержания в вине ВКС калия и кальция до 500 – 550 мг/дм³, что гарантирует стабильность от помутнений.

Диффузионный сок циркулирует в камерах концентрирования электродиализного аппарата до получения насыщенного раствора ВКС калия и кальция (концентрацией 1000 – 2000 мг/дм³), который затем направляют через охладитель 8 в отстойный резервуар 9, в кото-

ром при температуре до 10°С и pH 2,8 – 3,2 происходит быстрое осаждение тартратов в количестве не менее 85 – 88 % от их содержания в выжимке.

Анолит, используемый в качестве экстрагента, благодаря тому, что он имеет активную кислотность 2,8 – 3,2 и насыщен продуктами анодных электрохимических реакций, обладает большей экстрагирующей способностью при температуре 20 – 25°С и вымывает из виноградной выжимки практически все водорастворимые вещества – виннокислые соединения, углеводы, этиловый спирт, если утилизируются сброженная выжимка и т.д. Кроме того, диффузионный сок, содержащий указанный анолит при pH 2,8 – 3,2, препятствует осадкообразованию на мембранах электродиализного аппарата, продлевая тем самым сроки эксплуатации мембран.

Сравнивая отдельные показатели предлагаемого способа со способами стабилизации виноградного вина от кристаллических помутнений путем обычной электродиализной обработки (способ А) и извлечения ВКС с использованием в качестве экстрагента электрохимически активированного раствора неорганических соединений, например, сульфата аммония (способ Б), можно отметить (таблица 3), что энергозатраты снижены на 27 – 42 %, продолжительность процесса обработки сокращена за счет увеличения удельной производительности электродиализного аппарата на 21 – 26 %, выход ВКС из виноградных выжимок увеличивается на 25 %.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика способов извлечения ВКС из отходов виноделия

Показатели	Способ А	Способ Б	Предлагаемый способ
Удельный расход электричества, А·ч/дм ³	78·10 ⁻³	55·10 ⁻³	40·10 ⁻³
Удельная производительность ЭДА, дм ³ /м ² ·ч	180	165	230
Содержание калия, мг/дм ³ :	985	985	985
- в исходном вине	530	545	534
- в обработанном вине			
Титруемая кислотность (в пересчете на винную кислоту), г/дм ³ :	8,6	8,6	8,6
- исходного вина	6,8	7,2	6,4
- обработанного вина			
Выход ВКС из выжимок, %	-	62	87
Дегустационная оценка:			
- исходного вина	7,3	7,3	7,3
- обработанного вина	7,5	6,0*	7,9

* посторонние тона в аромате и вкусе

Заключение

Полученные данные показывают, что новая технология позволяет обеспечить не только эффективную стабилизацию вина к кри-

сталлическим помутнениям, но и увеличить выход виннокислых соединений из диффузионного сока при утилизации виноградной выжимки.

Библиографический список

1. Кишковский З.Н., Скурихин И.М. Химия вина. М.: Агропромиздат, 1988. 312 с.
2. Кишковский З.Н., Мерзжаниан А.А. Технология вина. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. 504 с.
3. Малышев А.В. Математическое моделирование процессов производства винной кислоты из отходов виноделия методами ионообмена: автореф. канд. дисс. ... канд. техн. наук. Краснодар: КубГТУ, 1999. 26 с.
4. Малышев Д.В., Малышев А.В., Ковалев В.А. Исследование возможности получения винной кислоты электродиализной очисткой модельных растворов натрия виннокислого // Студенты России – пищевой промышленности XXI века: тез. докл. всерос. студенч. науч. конф. с междунар. Участием. Краснодар: КубГТУ, 1998. С. 128–130.
5. Исламов М.Н. Электромембранные технологии в коньячном производстве // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: матер. IV междунар. науч.-техн. конф. СПб: СПбГУНиПТ. 2009. С. 388–390.
6. К вопросу о возможности утилизации коньячной барды с помощью электродиализа / М.Н. Исламов и др. // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: матер. междунар. науч.-техн. конф. СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. С. 177.
7. Исламов М.Н., Исмаилов Т.А., Халалмагомедов М.А., Кишковский З.Н. Новая технология утилизации отходов коньячного производства с помощью электродиализа // Виноделие и виноградарство. 2007. № 6. С. 14–15.
8. Получение винной кислоты из отходов виноделия методом электродиализа / М.Н. Исламов и др. // Прогрессив. пищ. Технологии – третьему тысячелетию: тез. докл. междунар. науч. конф. Краснодар: КубГТУ, 2000. С. 153–154.
9. Пилат Б.В. Основы электродиализа. М.: Авваллон, 2004. 448 с.

References

1. Kishkovskij Z.N., Skurihin I.M. Himiya vina. M.: Agropromizdat, 1988. 312 s.
2. Kishkovskij Z.N., Merzhanian A.A. Tekhnologiya vina. M.: Lyogkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984. 504 s.
3. Malyshev A.V. Matematicheskoe modelirovanie processov proizvodstva vinnoj kisloty iz othodov vinodeliya metodami ionoobmena: avtoref. kand. diss. ... kand. tekhn. nauk. Krasnodar: KubGTU, 1999. 26 s.
4. Malyshev D.V., Malyshev A.V., Kovalev V.A. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya vinnoj kisloty elektrodializnoj ochistkoj model'nyh rastvorov natriya vinnokislogo // Studenty Rossii – pishchevoj promyshlennosti XXI veka: tez. dokl. vseros. studench. nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem. Krasnodar: KubGTU, 1998. S. 128–130.
5. Islamov M.N. Elektromembrannye tekhnologii v kon'yachnom proizvodstve // Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke: mater. IV mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. SPb: SPbGUNIPT. 2009. S. 388–390.
6. K voprosu o vozmozhnosti utilizacii kon'yachnoj bardy s pomoshch'yu elektrodializa / M.N. Islamov i dr. // Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke: mater. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. SPb.: SPbGUNIPT, 2001. S. 177.
7. Islamov M.N., Ismailov T.A., Halalmagomedov M.A., Kishkovskij Z.N. Novaya tekhnologiya utilizacii othodov kon'yachnogo proizvodstva s pomoshch'yu elektrodializa // Vinodelie i vinogradarstvo. 2007. № 6. S. 14–15.
8. Poluchenie vinnoj kisloty iz othodov vinodeliya metodom elektrodializa / M.N. Islamov i dr. // Progressiv. pishch. Tekhnologii – tret'emu tysyacheletiyu: tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. Krasnodar: KubGTU, 2000. S. 153–154.
9. Pilat B.V. Osnovy elektrodializa. M.: Avvallon, 2004. 448 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 09.09.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 20.09.2023

Принята к публикации / Accepted 27.09.2023

© М.Н. Исламов, Л.Р. Ибрагимова, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Исламов Мурад Нурмагомедович – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых производств и общественного питания Дагестанского государственного технического университета.

Murad Islamov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Production and Public Catering, Daghestan State Technical University.

Ибрагимова Людмила Рашидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых производств и общественного питания Дагестанского государственного технического университета.

Lyudmila Ibragimova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Production and Public Catering, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Исламов М.Н., Ибрагимова Л.Р.* Исследование и разработка технологии извлечения виннокислых соединений из отходов виноделия с применением электромембранных технологий // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 26 - 32. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-26-32.

For citation: *Islamov M.N., Ibragimova L.R.* Research and development of technology for extracting tartaric acid compounds from wine-making waste using electromembrane technologies // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 26 - 32. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-26-32.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ БИОМАССЫ ТРОСТНИКА В СРЕДЕ АЗОТА

Ю.М. Султанов¹, Э.Д. Майсарова²

¹ Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70

² Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиал Объединенного института высоких температур Российской академии наук, Махачкала
367030, Россия, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 39а
yusultanov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена термическая деструкция биомассы тростника. Установлена возможность получения термической деструкцией из биомассы тростника ценных продуктов для нефтехимического синтеза. Найдено, что при проведении деструкции в инертной среде и температуре 350°С достигается наибольший выход жидких продуктов.

Ключевые слова: термическая деструкция, тростник южный, уксусная кислота, фурфурол.

Abstract. The paper examines the thermal destruction of reed biomass. The possibility of obtaining valuable products for petrochemical synthesis from reed biomass through thermal destruction has been established. It was found that when destruction is carried out in an inert environment and at a temperature of 350°С, the highest yield of liquid products is achieved.

Key words: thermal destruction, southern reed, acetic acid, furfural.

Введение

Глубокая переработка растительного сырья – это направление «зеленой химии», которое позволяет заменить ископаемое сырье целлюлозой растений. Такой подход к получению ценных химических веществ из растительного сырья способен в некоторой степени решить острую экологическую проблему массовой вырубке лесов, а также снизить импортную зависимость при производстве стратегически важных изделий [1, 2, 3, 4].

Замена ископаемого сырья биомассой возобновляемого растительного сырья при получении полупродуктов для нефтехимии является актуальной задачей [5]. Целью данной работы было исследование перспективности использования биомассы тростника в процессе термической деструкции для получения ценного сырья нефтехимического синтеза.

Тростник южный или обыкновенный – это многолетний травянистый сизо-зелёный крупный злак с длинным ползучим корневищем и толстыми горизонтальными надземны-

ми побегами (рисунок 1). Стебли прямые, крепкие, 100 – 400 см высотой, до 2 см толщиной, полые, гладкие. Соцветие – крупная, густая, длинная, нередко односторонняя, серебристо-бурая, пушистая метёлка. Цветет в июле – октябре. Прямой стебель после цветения становится почти деревянистым. Листья тростника серовато-зелёные, жёсткие, удлинённые. Соцветие до 30 см длиной с множеством отдельных мелких колосков (6-15 мм длиной) фиолетового цвета. Опыляется тростник при помощи ветра. Он растёт по берегам рек, озёр, прудов, на болотах и сырых лугах. Всегда образует большие заросли. Под сильными порывами ветра стебли тростника могут сгибаться, но никогда не ломаются.

По своему химическому составу сухой тростник южный представляет собой достаточно сложный комплекс структурных биополимеров, в основном, полисахаридов и лигнина. Он содержит 40 – 45 % целлюлозы, лигнин (20 %), пентозаны (24 %), углеводы (4 – 11 %).



Рисунок 1 – Тростник южный *Phragmites australis*

Химический состав тростника южного

Использование тростника южного в качестве сырья представляется перспективным ввиду ряда преимуществ, таких как, низкая стоимость, доступность, возобновляемость, высокая технологичность, удобство в эксплуатации, безопасность для окружающей среды. Технологичность и удобство в эксплуатации

связаны с низкой естественной влажностью в период полного созревания, что приводит к длительным срокам хранения, также легко подвергается физической и химической модификации. Из биомассы тростника южного легко изготовить гранулы любого размера или просто измельчить. Химический состав тростника южного приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав тростника южного (*Phragmites australis*) в период полного созревания

Показатели	Значение
Сырой протеин, г	38,00
Сырой жир, г	6,00
Сырая клетчатка, г	66,00
Крахмал, г	5,10
Безазотистые экстрактивные вещества, г	78,00
Сахар, г	13,50
Кальций, г	0,50
Фосфор, г	0,40
Магний, г	0,50
Калий, г	3,00
Натрий, г	0,60
Медь, мг	1,40
Цинк, мг	8,00

Встречается почти на всей территории бывшего СССР, распространён также в Западной Европе, Азии, Северной Африке, в Северной и Южной Америке. В медицине используют, как жаропонижающее, желчегонное и противорвотное средство, а также используют для употребления в пищу, для выделки бумаги и для производства строительных материалов,

например, для изготовления камышита. Актуальность темы обусловлена тем, что использование возобновляемого растительного сырья в нефтехимической промышленности вместо ископаемых ресурсов решает и энергетическую, и экологическую проблемы.

Методика проведения экспериментов по термической деструкции биомассы тростника

Перед проведением опытов тростник измельчали и высушивали. Затем навеску образца массой 10 мг помещали в реактор. Принципиальная схема установки для термической деструкции биомассы тростника приведена на рисунке 2.

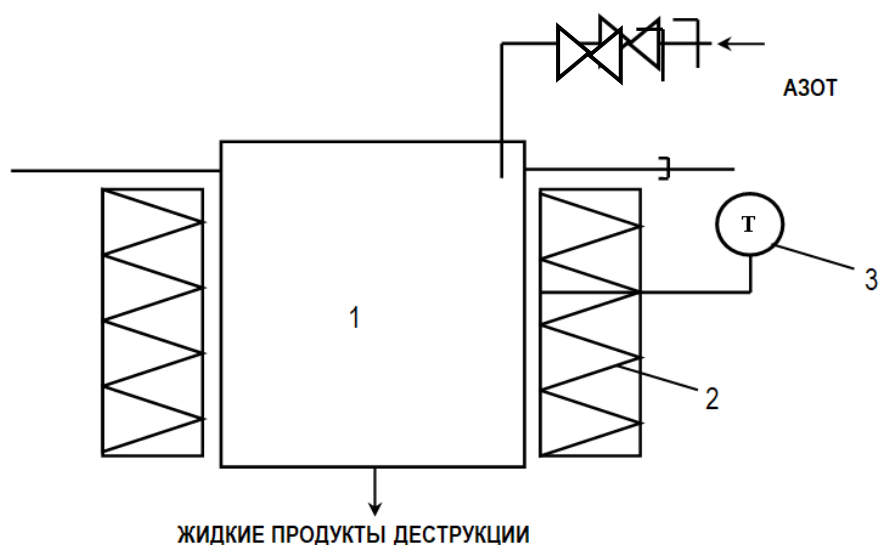


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки для термокаталитической деструкции биомассы тростника: 1 – реактор; 2 – нагревательный элемент; 3 – термометр

Термогравиметрический анализ биомассы тростника проводили на приборе термического анализа STA 449 F 3 «NETZSCH». Масса образца для проведения термогравиметрического анализа составила 15 мг. В качестве продувочного газа использовали аргон. Навеску помещали в тигель и нагревали.

Методика проведения хроматографических анализов и обсуждение результатов

Анализ жидких продуктов термокаталитической деструкции биомассы тростника проводили на газовом хромато-масс-спектрометре компании «Agilent Technologies». Идентификацию жидких продуктов и определение количества проводили путем сравнения масс-спектров вещества со стандартными масс-спектрами библиотеки спектров NIST 08.

Результаты проведенного термогравиметрического анализа биомассы тростника приведены на рисунке 3. Видно, что термиче-

Предварительно для выяснения перспективности использования растительного сырья для получения ценных продуктов нефтехимического синтеза было проведено исследование процесса термической деструкции биомассы тростника методом термогравиметрического анализа.

ская деструкция биомассы тростника происходит в три этапа.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что при термическом разложении биомассы тростника протекают две группы реакций, вначале происходит деполимеризация полимера, а затем в результате конденсационных процессов появляются новые типы углерод – углеродных связей. Оптимальной температурой проведения термического разложения целлюлозы растительного сырья является 350°C.

На основе анализа литературы [6, 7, 8] и проведенных опытов по термической деструкции биомассы тростника в качестве объекта исследования был выбран тростник южный. Для исследования возможности получения ценных продуктов из растительного сырья были проведены опыты по термической деструкции биомассы тростника в инертной среде – атмосфере азота. Результаты проведенных опытов по термической деструкции биомассы

тростника приводятся в таблице 2. В ней приведены выходы газообразных, жидких продуктов и угля процесса термической деструкции

биомассы тростника при температуре 350°C в среде азота.

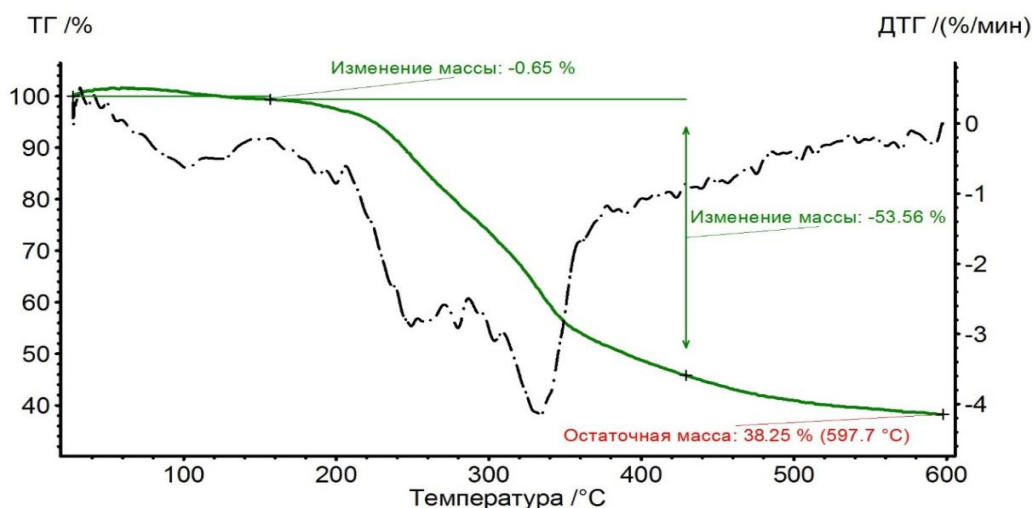


Рисунок 3 – Термограмма термической деструкции биомассы тростника

Как видно из таблицы 2, в случае проведения реакции в атмосфере азота при температуре 350°C достигается довольно высокий выход жидких продуктов. В то же время обра-

зование газообразных продуктов в этом случае наименьшее, так как в инертной среде образуется минимальное количество низкомолекулярных продуктов.

Таблица 2 – Выходы продуктов термической деструкции биомассы тростника при температуре 350°C

Среда	Температура, °C	Выход газообразных продуктов, %	Выход жидких продуктов, %	Выход угля, %
азот	350	23,4	45,5	31,1

Инертная среда способствует, по-видимому, получению большего количества ненасыщенных высокомолекулярных продуктов. В случае инертной среды образуется наименьшее количество газообразных продуктов и значительное количество угля.

Это объясняется тем, что в этом случае образуется незначительное количество низко-

молекулярных соединений и большое количество непредельных, которые склонны к образованию продуктов уплотнения и угля.

Результаты анализа жидких продуктов термической деструкции биомассы тростника при температуре 350°C в среде азота приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Состав продуктов термической деструкции биомассы тростника при температуре 350°C

Среда	Температура, °C	Выход фурфурола, %	Выход уксусной кислоты, %	Выход метилфуранкарбонс-альдегида, %
азот	300	31,6	24,4	16,2

Как видно из таблицы 3, при термической деструкции биомассы тростника при температуре 350°C в атмосфере азота образуется наибольшее количество фурфурола (31,6%) уксусной кислоты (24,4%), и метилфуранкарбонсальдегида (16,2%).

Таким образом, тростник представляет интерес как источник возобновляемого сырья для получения ценных продуктов, являющихся востребованными в нефтехимии.

Библиографический список

1. Лавренова Г.В. Лавренов В.К. Энциклопедия лекарственных растений. Т. 2. Донецк: Донеччина, 1997. С. 270–271.
2. Варлыгина Т.И., Головкин Б.Н., Киселёва К.В. Флора Москвы. М.: Голден-Би, 2007. С. 137.
3. Панцхава Е.С. Биотопливо и энергетика. Возможности России // Теплоэнергетика. 2006. № 3. С. 65.
4. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2012. 240 с.
5. Султанов Ю.М.-А., Апандиев Р.Б., Майсарова Э.Д. Термическое разложение целлюлозы амаранта: Неделя науки – 2021: сборник материалов 42 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Махачкала: Изд. ДГТУ, 2021. С. 211–212.
6. Торлопов М.А. Ферментативный гидролиз порошковых целлюлоз, полученных различными методами // Химия растительного сырья. 2007. № 3. С. 69–76.
7. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесная промышленность, 2002. 362 с.
8. Сухарькова В.А., Антонов Г.А. Совершенствование процесса гидролиза древесины // Химия древесины. 2002. № 3. С. 14–28.

Referenses

1. Lavrenova G.V. Lavrenov V.K. Enciklopediya lekarstvennyh rastenij. T. 2. Doneck: Donechchina, 1997. S. 270–271
2. Varlygina T.I., Golovkin B.N., Kiselyova K.V. Flora Moskvy. M.: Golden-Bi, 2007. S. 137.
3. Panckhava E.S. Biotoplivo i energetika. Vozmozhnosti Rossii // Teploenergetika. 2006. № 3. S. 65.
4. Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu. Netradicionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii: uchebnoe po-sobie. M.: KNORUS, 2012. 240 s.
5. Sultanov Yu.M.-A., Apandiev R.B., Majsarova E.D. Termicheskoe razlozhenie cellyulozy amaranta: Nedelya nauki – 2021: sbornik materialov 42 itogovoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii prepodavatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU. Mahachkala: Izd. DGTU, 2021. S. 211–212.
6. Torlopov M.A. Fermentativnyj gidroliz poroshkovyh cellyuloz, poluchennyh razlichnymi metodami // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2007. № 3. S.69–76.
7. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. Himiya drevesiny i cellyulozy. M.: Lesnaya promyshlennost', 2002. 362 s.
8. Suhar'kova V.A., Antonov G.A. Sovershenstvovanie processa gidroliza drevesiny // Himiya drevesiny. 2002. № 3. S. 14–28.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 16.07.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 28.07.2023

Принята к публикации / Accepted 05.08.2023

© Ю.М. Султанов, Э.Д. Майсарова, 2023

Сведения об авторах List of Authors

Султанов Юсуф Магомедгаевич – доктор химических наук, доцент кафедры химии Дагестанского государственного технического университета.

Yusuf Sultanov – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Daghestan State Technical University.

Майсарова Энара Джебраиловна – ведущий инженер Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики филиала Объединенного института высоких температур РАН.

Enara Maysarova – Leading Engineer at the Institute of Geothermal and Renewable Energy Problems of the Branch of the Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences.

Ссылка для цитирования: Султанов Ю.М., Майсарова Э.Д. Исследование продуктов термической деструкции биомассы тростника в среде азота // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 33 - 37. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-33-37.

For citation: Sultanov Yu.M., Maysarova E.D. Investigation of thermal degradation products of cane biomass in nitrogen environment // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 33 - 37. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-33-37.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СВЧ-ТРАКТА

С.И. Шершнёв, М.А. Ваганов

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург
190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
shershnev-st@ya.ru, ma.vaganov@gmail.com

Аннотация. Разработаны и экспериментально исследованы элементы сверхвысокочастотного тракта, изготовленные с помощью технологии 3D-печати. Представлены характеристики макетов микрополоскового направленного ответвителя, полосно-пропускающего фильтра, делителя Вилкинсона, а также макет фильтра поверхностного монтажа. Представлен сравнительный анализ измеренных характеристик макетов с результатами электромагнитного моделирования. Даны пояснения по сходимости результатов измерения с разработанными электромагнитными моделями, а также рекомендации по макетированию с помощью технологии 3D-печати.

Ключевые слова: делитель Вилкинсона, диэлектрическое основание, микрополосковая линия, направленный ответвитель, подложка, полосно-пропускающий фильтр, СВЧ-тракт, 3D-печать.

Abstract. Elements of the microwave path, manufactured using 3D printing technology, have been developed and experimentally studied. The characteristics of the microstrip directional coupler, bandpass filter, Wilkinson divider, and surface-mount filter layouts are presented. A comparative analysis of the measured characteristics of the prototypes with the results of electromagnetic modeling is presented. Explanations are given on the convergence of measurement results with the developed electromagnetic models, as well as recommendations for prototyping using 3D printing technology.

Key words: Wilkinson divider, dielectric base, microstrip line, directional coupler, substrate, bandpass filter, microwave path, 3D printing.

Введение

Актуальными направлениями исследований и разработки устройств для высокочастотных (ВЧ) применений являются следующие направления: улучшение характеристик, уменьшение массогабаритных параметров, снижение стоимости разрабатываемого устройства. Выбор правильного способа макетирования ВЧ устройств в процессе проведения опытно-конструкторских работ позволяет снизить как временные затраты, так и стоимость конечного изделия. Перспективной технологией в данном направлении исследований

является технология 3D-печати, позволяющая в кратчайшие сроки решать задачи макетирования и прототипирования [1, 2].

В данной работе рассматриваются преимущества использования технологии 3D-печати при макетировании ВЧ устройств: ответвителей, фильтров, делителей. Представлен сравнительный анализ характеристик, а также затронуты вопросы сходимости результатов. Даны рекомендации по макетированию ВЧ устройств с помощью технологии 3D-печати.

Проектирование элементов СВЧ тракта

Для проектирования элементов СВЧ тракта в системе автоматизированного проектирования и моделирования высокочастотных систем и устройств *AWR Design Environment* [3] необходимо определить основные параметры диэлектрической подложки, такие как диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Значения данных параметров зависят от выбранного способа запол-

нения подложки пластиком в процессе печати, а также от применяемых материалов.

Определим параметры подложки из пластика *PET-Gs* помощью макетной платы, ограниченной металлическим основанием с одной стороны и несимметричной микрополосковой линией (МПЛ) с другой, толщина подложки выбрана 0,5 мм. Фотография макетной платы и измеренные параметры представлены на рисунке 1.

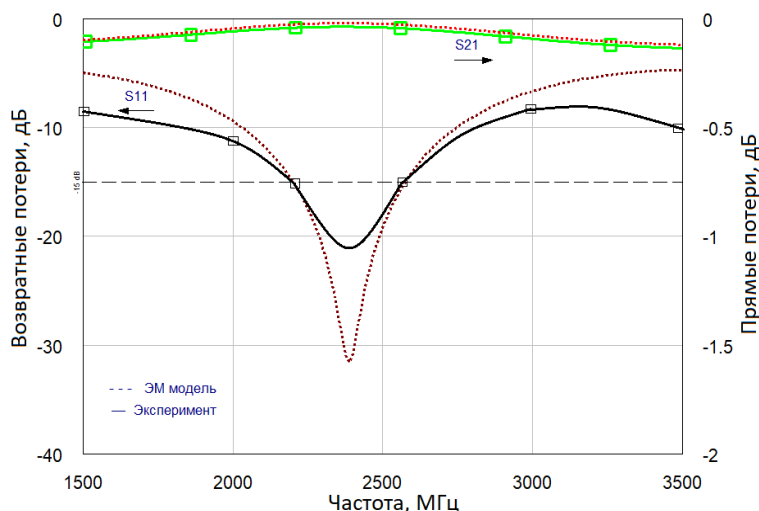


Рисунок 1 – Макетная плата с микрополосковой линией и её характеристики

Из рисунка 1 видно, что кривая коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) принимает минимальное значение на частоте 2400 МГц. Далее с помощью подстройки значения диэлектрической проницаемости в построенной электромагнитной модели необходимо добиться совпадения минимумов КСВН измеренной платы и электромагнитной модели. При полном совпадении минимумов КСВН значение диэлектрической проницаемости на частоте 2400 МГц примерно составляет 2,7. Так как параметр диэлектрической проницаемости в материале зависит от частоты, рассмотрим МПЛ и шлейф холостого хода, рассчитанные для центральной частоты 3000 МГц. Для обеспечения жесткости платы толщина диэлектрической подложки выбрана 1 мм. Фотография изготовленного макета и его характеристики представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что присутствует сходимость результатов моделирования и изме-

рений [4, 5]. Данный фактор подтверждается результатами в работе [6], где определены параметры пластиков, применяемых в 3D-печати.

Рассмотрим процесс проектирования двухслойного направленного ответвителя. Изготовленный макет направленного ответвителя на симметричных микрополосковых линиях представлен рисунке 3.

Исходные данные для проектирования:

- материал подложки – пластик *PET-G*, толщина 1мм;
- диэлектрическая проницаемость – 2,7;
- толщина проводящих слоев – 0,05 мм.

Из рисунка 4 видно, что присутствует сходимость результатов моделирования и измерений. Отличия в схождении присутствуют из-за наличия воздушного зазора между диэлектрическими основаниями, а также дополнительного перехода с симметричной МПЛ на несимметричную.

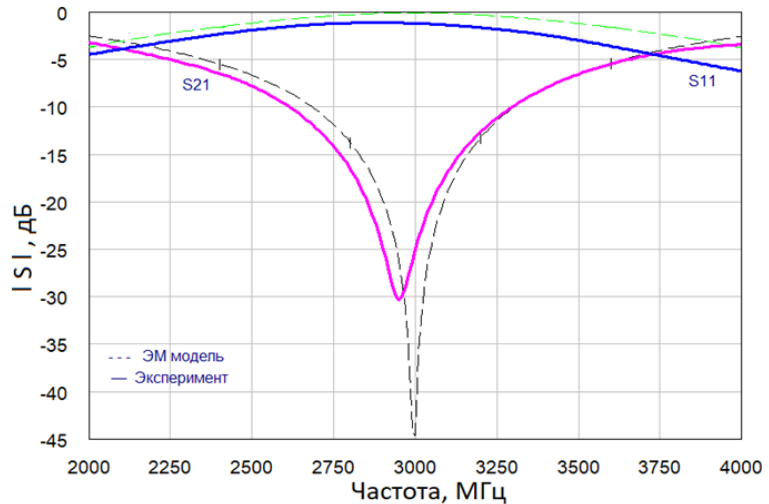


Рисунок 2 – Макет платы со шлейфом холостого хода и его характеристики

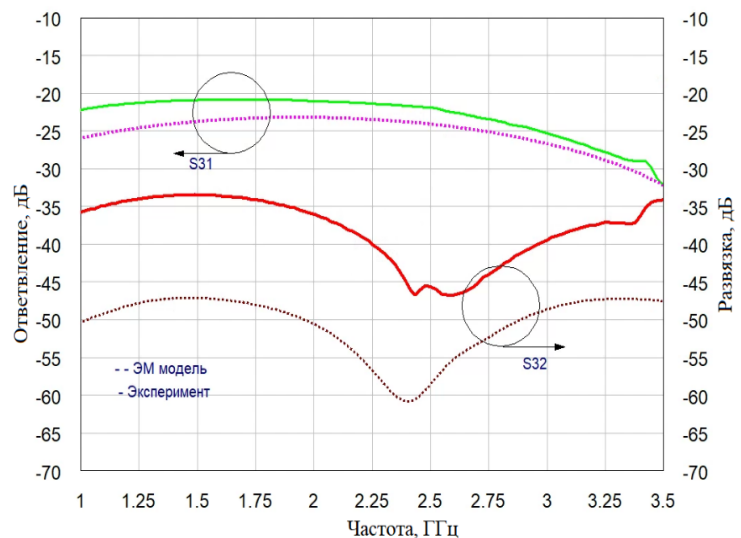
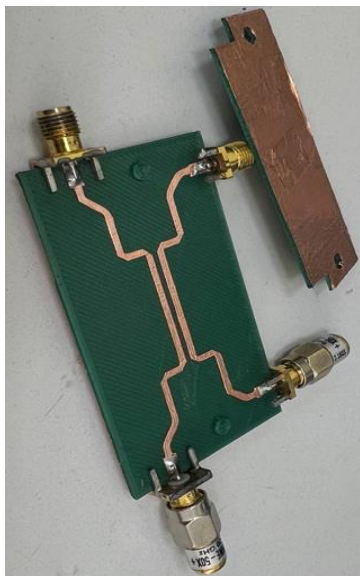


Рисунок 3 – Макет двухслойного направленного ответвителя

Рисунок 4 – Частотные зависимости характеристик ответвителя

Рассмотрим случай проектирования полосно-пропускающего фильтра (ППФ) для центральной частоты 2400 МГц. На рисунке 5 представлены фотография макета и топология ППФ. Фильтр выполнен на подложке толщиной 1 мм, ограниченной сверху сигнальным слоем и земляным слоем снизу. Переходные отверстия на землю напечатаны в процессе изготовления подложки и соединены низкотемпературным припоем с земляным экраном.

Измеренные характеристики изготовленного макета ППФ, а также результаты элек-

тромагнитного моделирования представлены на рисунке 6.

При анализе кривых на рисунке 6 видно, что характеристики имеют достаточно хорошую сходимость. Отличия в сходимости связаны со сложностью изготовления в условиях макета зазоров 0,2 мм между подводящими микрополосковыми линиями и короткозамкнутыми отрезками по входу и выходу фильтра. Данный фактор необходимо учитывать и проектировать фильтр исходя из текущих технологических ограничений.

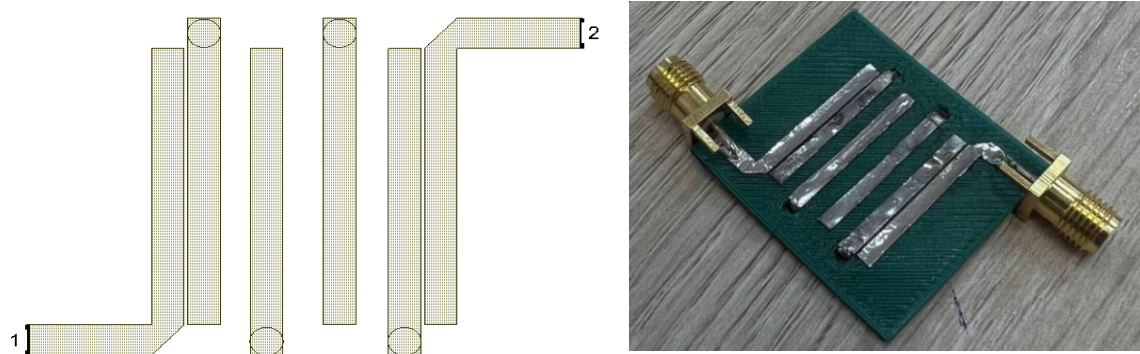


Рисунок 5 – Внешний вид макета фильтра и его топология

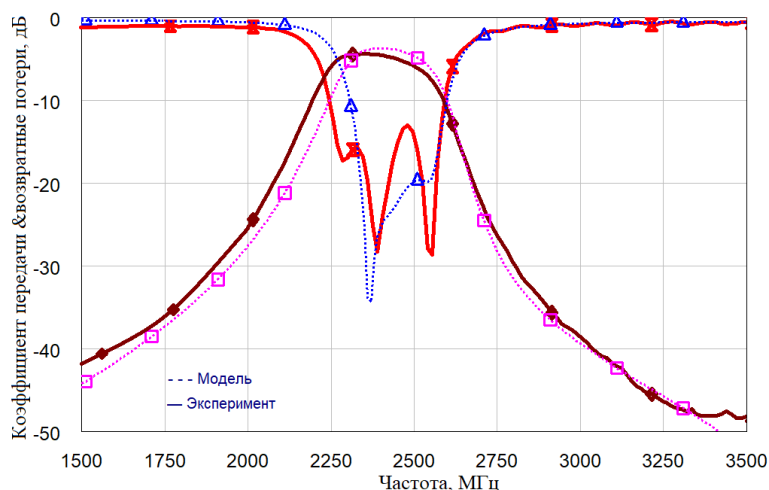


Рисунок 6 – Частотные зависимости характеристик фильтра

Рассмотрим характеристики делителя Вилкинсона, выполненного на подложке толщиной 1 мм, рассчитанного для центральной частоты 3000 МГц. На рисунке 7 представлены

фотография делителя и его электрические параметры, где S_{21} – вносимые потери, S_{11} – возвратные потери по входу, S_{32} – развязка между выходами 2 и 3.

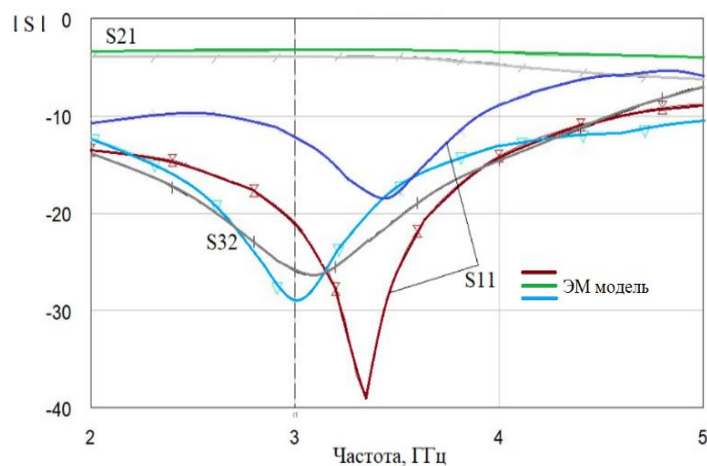
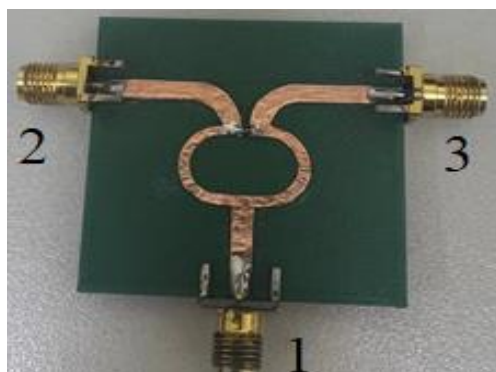


Рисунок 7 – Внешний вид макета и частотные зависимости характеристик делителя

Из рисунка 7 видно, что минимумы расчетных кривых КСВН и развязки совпадают по частоте с результатами измерений, потери на делении также совпадают с моделью, что говорит о хорошей сходимости. Отличия в сходимости результатов измерения макета делителя в данной конфигурации связаны со сложностью изготовления плавных изгибов МПЛ в условиях макета, поэтому необходимо проектировать делитель с применением поворотов линий под углом 45 градусов.

Технология 3D-печати позволяет не только в кратчайшие сроки провести макетирование и прототипирование элементов СВЧ тракта, выполненных в топологии, но и сделать макет платы с установленными на подложке

микросхемами. Фотография макета ППФ, установленного на подложку из *PET-G* пластика представлена на рисунке 8.

Согласно спецификации производителя типовые вносимые потери фильтра *TFS1080* в рабочей полосе частот составляют 2,4 дБ. Из рисунка 9 видно, что измеренные вносимые потери на центральной частоте 1080 МГц составляют 2,6 дБ. Максимальное значение КСВН в рабочей полосе не более 2, что также удовлетворяет требованиям спецификации (рисунок 10). Отличия в коэффициенте передачи в рабочей полосе объясняются дополнительными потерями в подводящих МПЛ и ВЧ разъемах.



Рисунок 8 – Внешний вид макетной платы с установленными фильтрами

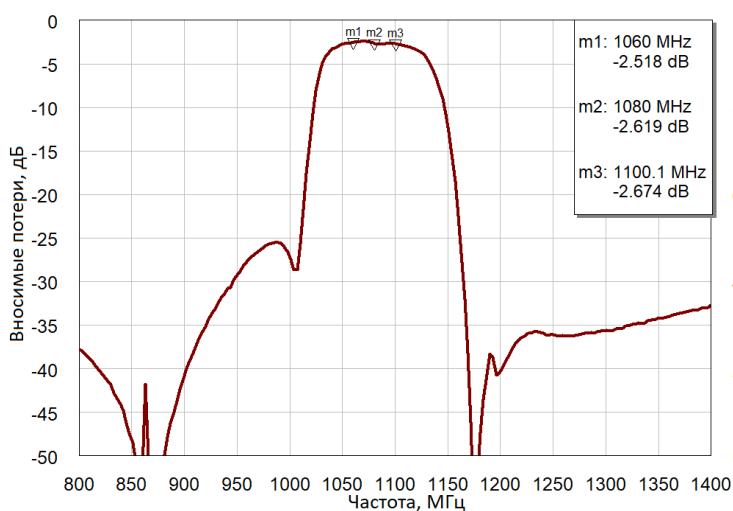


Рисунок 9 – Измеренные вносимые потери полосно-пропускающего фильтра *TFS1080*

Дальнейшим направлением разработки является проектирование макетов с применением альтернативных пластиков, которые об-

ладают малым тангенсом потерь на высоких частотах. Технология 3D-печати в перспективе позволит создавать макеты многослойных ВЧ

устройств для подтверждения технических решений разработчиков при невысокой стоимости проводимых работ. Также для расширения перечня проектируемых макетных ВЧ

устройств необходимо использовать более точные способы изготовления проводящих слоев и межслойных соединений.

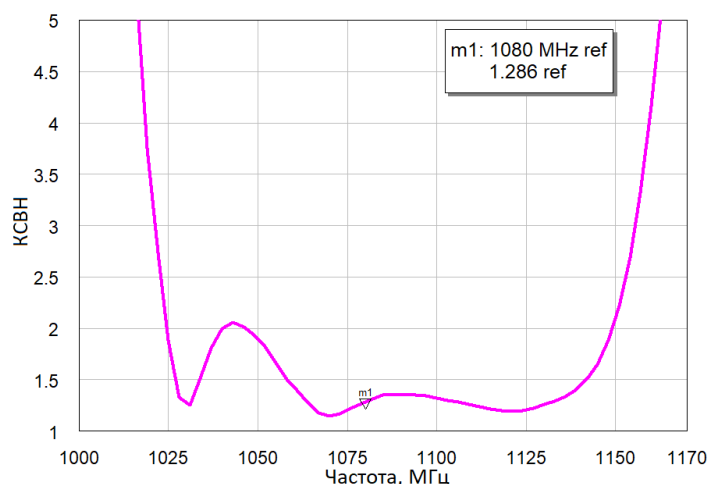


Рисунок 10 – Измеренный коэффициент стоячей волны по напряжению полосно-пропускающего фильтра TFS1080

Выводы

В работе рассмотрена перспективная и недорогая технология макетирования ВЧ устройств, которая значительно экономит временные ресурсы при проведении опытно-конструкторских работ. Рассчитаны топологии ответвителя, фильтра, а также делителя Вилкинсона для частот до 3000 МГц. Представлены макетные платы с установленными микросхемами ППФ фильтров, характеристики кото-

рых соответствуют данным спецификации производителя. Представлены результаты измерений и расчетов. Продемонстрирована хорошая сходимость результатов, а также обозначены некоторые отличия в схожести. Даны рекомендации по проведению макетирования с помощью данной технологии, а также обозначено дальнейшее направление разработки.

Библиографический список

1. Camarchia V., et al, Assessment of silver nanoparticle inkjet-printed microstrip lines for RF and microwave applications // IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS 2022). 2013. pp. 1-4.
2. Yang L., Rida A. RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2007. Vol. 55, № 12. pp. 2894-2901.
3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 492 с.
4. Camarchia V., et al, Assessment of silver nanoparticle inkjet-printed microstrip lines for RF and microwave applications // IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS 2022). 2013. pp. 1-4.
5. Yang L., Rida A. RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2007. Vol. 55, № 12. pp. 2894-2901.
6. Андреев А.А., Рябов Е.А., Хайрушев И.В., Сергеева Б.В., Сергеев С.А. Влияние температуры на диэлектрическую проницаемость пластиков в СВЧ диапазоне // Электроника и микроэлектроника СВЧ: материалы XII всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 29 мая – 2 июня 2023 г. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. С. 388-392.

References

1. Camarchia V., et al, Assessment of silver nanoparticle inkjet-printed microstrip lines for RF and microwave applications // IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS 2022). 2013. pp. 1-4.
2. Yang L., Rida A. RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2007. Vol. 55, № 12. pp. 2894-2901.

3. Razevig V.D., Potapov YU.V., Kurushin A.A. Proektirovanie SVCH-ustrojstv s pomoshch'yu Microwave Office. M.: SOLON-Press, 2003. 492 s.
4. Camarchia V., et al, Assessment of silver nanoparticle inkjet-printed microstrip lines for RF and microwave applications // IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS 2022). 2013. pp. 1-4.
5. Yang L., Rida A. RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2007. Vol. 55, № 12. pp. 2894-2901.
6. Andreev A.A., Ryabov E.A., Hajrushev I.V., Sergeeva B.V., Sergeev S.A. Vliyanie temperatury na dielektricheskuyu pronicaemost' plastikov v SVCH diapazone // Elektronika i mikroelektronika SVCH: materialy III vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 29 maya – 2 iyunya 2023 g. SPb: SPbGETU «LETI», 2023. S. 388-392.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 18.09.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 21.09.2023

Принята к публикации / Accepted 28.09.2023

© С.И. Шершнёв, М.А. Ваганов, 2023

Сведения об авторах
List of Authors

Шершнёв Станислав Игоревич – ассистент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Stanislav Shershnev – Assistant of the Department of Design and Technology of Electronic and Laser Devices, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Ваганов Михаил Александрович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Mikhail Vaganov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Ссылка для цитирования: *Шершнёв С.И., Ваганов М.А.* Применение технологии 3D-печати для проектирования элементов СВЧ тракта // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 38 - 44. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-38-44.

For citation: *Shershnev S.I., Vaganov M.A.* Application of 3D printing technology for the design of microwave path elements // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 38 - 44. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-38-44.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ НАНОСТРУКТУРНОЙ МЕДИ, ПОЛУЧЕННОЙ РАВНОКАНАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Л.А. Рябичева, И.Н. Бабич

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск
91034, Россия, Луганская Народная Республика, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
ryabic@gmail.com, babichirinikolaevna89@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования прочности и микротвердости порошковых медных заготовок, полученных равноканальным угловым прессованием. Построены кривые упрочнения в трех зонах заготовки, отличающихся условиями деформирования. Максимальные напряжения наблюдаются в зоне очага деформации, что соответствует максимальной микротвердости. Построены экспериментальные зависимости предела прочности от микротвердости и описаны аналитически, что позволяет использовать эти зависимости для расчета критерия устойчивости.

Ключевые слова: микротвердость, напряжение, порошковая заготовка, равноканальное угловое прессование, степень деформации.

Abstract. The results of a study of the strength and microhardness of powdered copper billets obtained by equal-channel angular pressing are presented. Hardening curves were constructed in three zones of the workpiece, differing in deformation conditions. The maximum stresses are observed in the zone of the deformation zone, which corresponds to the maximum microhardness. Experimental dependences of the ultimate strength on microhardness were constructed and described analytically, which makes it possible to use these dependences to calculate the stability criterion.

Key words: microhardness, stress, powder billet, equal-channel angular pressing, degree of deformation.

Введение

В последнее время увеличилось количество исследований новых подходов к повышению прочности и пластичности металлов и сплавов за счет формирования ультрамелкозернистой структуры методами интенсивной пластической деформации [1, 2]. Наиболее используемым для получения объемных нанокристаллических материалов является равноканальное угловое прессование, при котором форма образца не изменяется и достигается высокая степень деформации [3, 4]. При многократном равноканальном угловом прессовании каждый последующий проход вносит все меньший вклад в величину истинной дефор-

мации [5], так что увеличивать число проходов становится нецелесообразным. В результате этой технологии прессования можно получить структуру с равноосными зернами размером 80-200 нм, обеспечивающей высокую прочность и пластичность.

Авторы ставили перед собой цель провести экспериментальное исследование прочности и микротвердости наноструктурной меди после равноканального углового прессования.

Методика эксперимента

Эксперименты выполняли на порошковой меди марки ПМС-1. Заготовки для равноканального углового прессования призматиче-

ской формы сечением 15x15 мм, длиной 59 мм, исходной пористостью 40% изготавливали на гидравлическом прессе, спекали в среде синтез-газа по ступенчатому режиму, а затем подвергали равноканальному угловому прессованию за четыре прохода. После каждого прохода по длине полученной заготовки вырезали образцы для испытания на сжатие и исследования микротвердости. При этом заготовку делили на три зоны, показанные на рисунке 1: 1 – зона со стороны противодействия с характерной рыхлостью и трещинами; 2 – средняя зона, в которой располагается очаг деформации [6]; 3 – зона, находящаяся под пуансоном. Каждая зона имела длину около 10 мм.

На первом этапе происходит уплотнение и деформирование заготовки в вертикальном входном канале. После того, как заготовка продавлена до поверхности нижней части канала, начинается второй этап – процесс заполнения горизонтальной выходной части канала за счет осадки и истечения металла в щель. Далее происходит третий этап – горизонтальное течение металла в выходном канале до упора, создающего противодействие.

По данным эксперимента на первом этапе происходит уплотнение пористой заготовки за счет осадки. Для заготовки с исходной пористостью 40% давление прессования на первом

переходе и первом этапе составило 770 МПа; на втором переходе – 890 МПа; на третьем переходе – 1110 МПа. На втором этапе осуществляется затекание металла в выходной канал и формирование очага уплотнения или очага деформации. На данном этапе давление прессования на первом переходе составило 890 МПа; на втором – 1110 МПа; на третьем – 1480 МПа. На третьем этапе происходит течение металла до упора в горизонтальном выходном канале матрицы, в верхней части боковой поверхности заготовки формируется зона под пуансоном. Давление прессования на первом переходе составило 1110 МПа; на втором – 1220 МПа; на третьем – 1750 МПа.

Величина давления прессования на третьем переходе ограничена максимально допустимой силой на матрицу и пуансон. Возрастание давления прессования на последующих переходах обусловлено тем, что после каждого перехода увеличивается плотность заготовки и происходит упрочнение твердой фазы. Это приводит к увеличению давления равноканального прессования. При этом следует отметить изменение направления течения деформируемого материала и увеличение противодействия, которые также оказывают влияние на величину давления прессования [7, 8, 9].

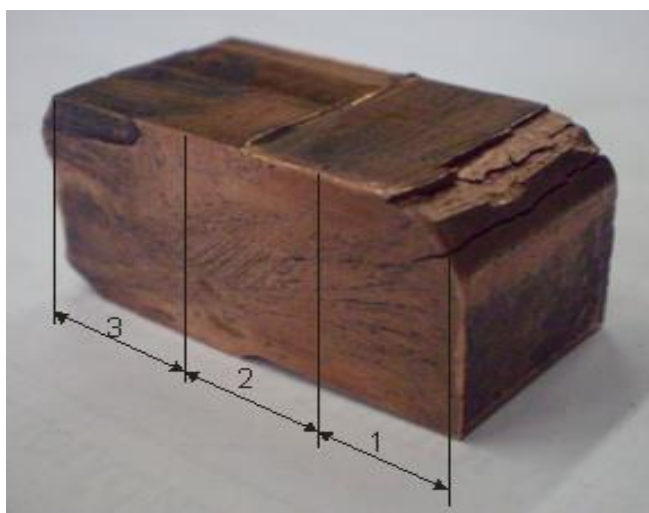


Рисунок 1 – Фото заготовки после первого прохода.

- 1 – зона со стороны противодействия;
- 2 – средняя зона,
- 3 – зона, находящаяся под пуансоном

Обсуждение полученных результатов

По диаграммам деформации, полученных при сжатии образцов, вырезанных из каждой зоны, строили кривые упрочнения (рисунок 2).

Как видно, с ростом степени деформации увеличивается упрочнение меди. При этом наибольшая величина напряжений достигнута в очаге деформации, она составляет 680 МПа

при степени относительной деформации 1.0. В результате равноканального углового прессования пористой заготовки получена максимальная плотность материала, происходит измельчение зерна до микро- и наноразмеров. Пластичность материала при этом довольно высокая.

В зоне образца под пуансоном при степени относительной деформации 0,45 получено максимальное напряжение 410 МПа. В зоне со стороны противодействия в результате боль-

ших степеней деформации в заготовках наблюдается нарушение сплошности, что приводит к низким величинам напряжений.

Максимальная величина микротвердости получена в средней зоне очага деформации (рисунок 3). Самые низкие величины микротвердости наблюдаются в зоне со стороны противодействия, для которой характерно образование рыхлости и на поверхности образца неглубоких трещин.

Рисунок 2 – Кривые упрочнения, полученные осадкой образцов, вырезанных из заготовок после третьего прохода равноканального углового прессования:
1 – средняя зона;
2 – зона под пуансоном;
3 – зона со стороны противодействия

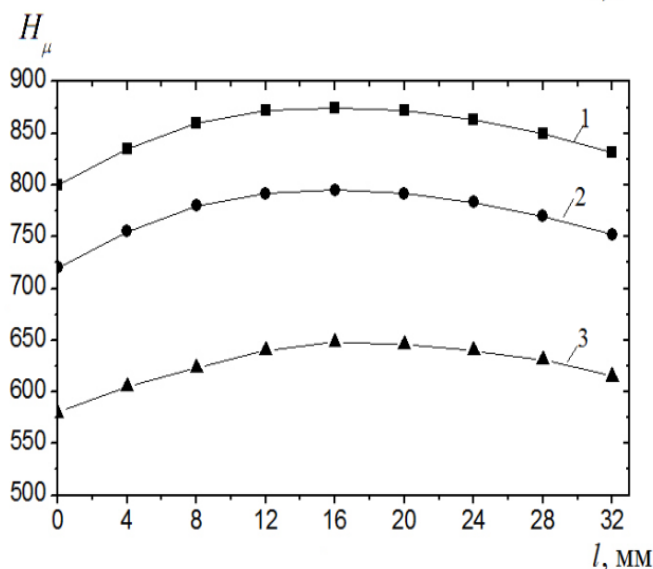
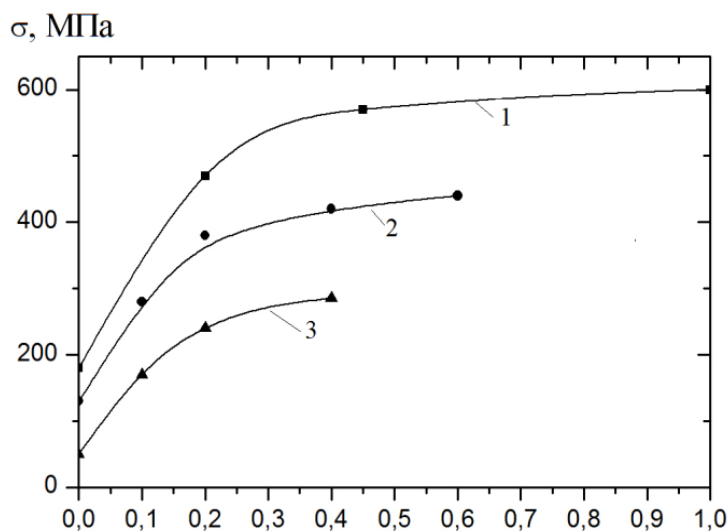


Рисунок 3 – Изменение микротвердости по длине образца после третьего прохода равноканального углового прессования:
1 – средняя зона;
2 – зона под пуансоном;
3 – зона со стороны противодействия

Для практического использования представляет интерес построение зависимости максимального напряжения течения от микротвердости (рисунок 4). После третьего прохода при максимальной микротвердости 875 МПа можно получить предел прочности 680 МПа у высокоплотной меди.

Кривые на рисунке 4 аппроксимируются зависимостями, приведенными в таблице. Полученные зависимости рекомендуется использовать для расчета критерия устойчивости материала. Расчет предела прочности можно вести по уравнению аппроксимации после третьего прохода равноканального углового прессования.

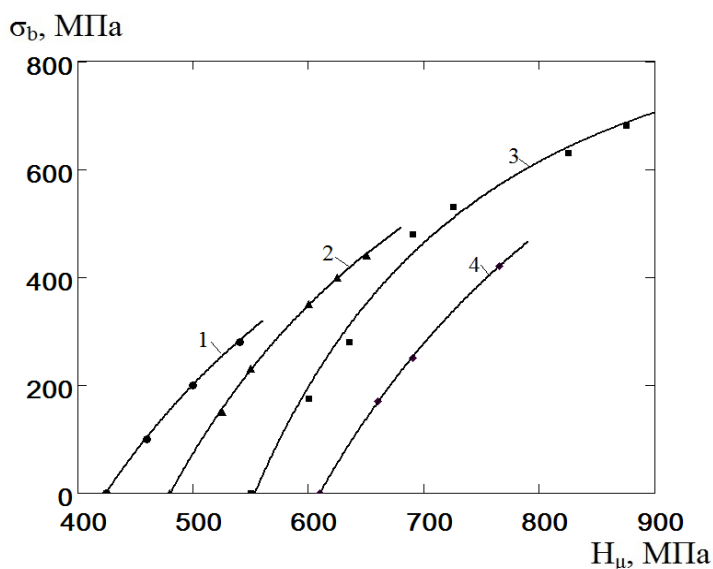


Рисунок 4 – Предел прочности при соответствующей микротвердости образца после четырех проходов равноканального углового прессования:
1 – первый; 2 – второй;
3 – третий; 4 – четвертый

Таблица – Уравнения, аппроксимирующие зависимости предела прочности от микротвердости

Состояние поверхности	Концентрации, ат. %					N/Al
	C	O	Al	N	Ca	
До травления (очистка нефокусированными ионами Ar ⁺ , E _i – 150 эВ)	3,0	41,0	41,0	14,5	0,5	0,35
	-	56,0	40,0	4,0	-	0,10
После травления 5 мин	-	60,0	39,5	0,5*	-	<0,02
После травления 10 мин						

Заключение

Исследования показали, что наилучшие механические свойства порошковой меди получены после третьего прохода равноканального углового прессования при противодавлении

равном 90 МПа. Очевидно, для дальнейшего измельчения зерна и увеличения очага деформации необходимо увеличить противодавление, что требует создания инструмента, выдерживающего большие нагрузки.

Библиографический список

1. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука и техника, 1994. 232 с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
3. Maydanyuk A. Equal channel angular extrusion of porous billets: computer simulation and experimental study / A. Maydanyuk, M. Shtern, G. Bagluck, L. Ryabicheva // The International congress and exhibition EURO PM 2010 proceedings, October 10–14, 2010, Florence, Vol. 3. P. 1206–1212.
4. Morris D.G. Mechanical behavior of nanostructured materials // Switzerland, Trans. Tech. Publication LTD. 1998. P. 85.
5. Iwahashi Y. The process of grain refinement in equal-channel angular pressing // ActaMaterialia. 1998. V. 46. P. 3317–3331.
6. Ryabicheva L., Usatyuk D., Dyadichev A. Numerical simulation and experimental investigation of equal-channel angular pressing of porous powder billets // Machines, Technologies, Materials. International virtual journal. Bulgaria, Sofia, 2014, No. 12, pp. 31–34.
7. Рябичева Л.А., Бабич И.Н. Изменение очага деформации при равноканальном угловом прессовании порошковых материалов // Механические свойства современных конструкционных материалов: научные чтения имени И.А.Одинга. М.: ИМЕТ РАН. 2018. С. 345–350.

8. Рябичева Л.А., Бабич И.Н., Нагорный Е.В. Эволюция деформации при РКУ-прессовании пористой заготовки // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: сб. науч.тр. 2017. № 4 (21). С. 58-62.

9. Рябичева Л.А., Бабич И.Н. Экспериментальное исследование давления РКУ-прессования пористых материалов // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: сб. научн. тр. 2022. № 3 (40). С. 31-38.

Referenses

1. Segal V.M., Reznikov V.I., Kopylov V.I. *Processy plasticheskogo strukturoobrazovaniya metallov*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1994. 232 s.

2. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. *Nanostrukturnye materialy, poluchennye intensivnoj plasticheskoy deformatsiej*. M.: Logos, 2000. 272 s.

3. Maydanyuk A. Equal channel angular extrusion of porous billets: computer simulation and experimental study / A. Maydanyuk, M. Shtern, G. Bagluck, L. Ryabicheva // *The International congress and exhibition EURO PM 2010 proceedings, October 10–14, 2010, Florence, Vol. 3. P. 1206–1212.*

4. Morris D.G. *Mechanical behavior of nanostructured materials* // Switzerland, Trans. Tech. Publication LTD. 1998. P. 85.

5. Iwahashi Y. The process of grain refinement in equal-channel angular pressing // *ActaMaterialia*. 1998. V. 46. P. 3317–3331.

6. Ryabicheva L., Usatyuk D., Dyadichev A. Numerical simulation and experimental investigation of equal-channel angular pressing of porous powder billets // *Machines, Technologies, Materials. International virtual journal. Bulgaria, Sofia, 2014, No. 12, pp. 31-34.*

7. Ryabicheva L.A., Babich I.N. *Izmenenie ochaga deformacii pri ravnokanal'nom uglovom pressovanii poroshkovykh materialov* // *Mekhanicheskie svojstva sovremennykh konstrukcionnykh materialov: nauchnye chteniya imeni I.A.Odinga. M.: IMET RAN. 2018. S. 345-350.*

8. Ryabicheva L.A., Babich I.N., Nagornyj E.V. *Evoluciya deformacii pri RКУ-pressovanii poroshkovej poristoj zagotovki* // *Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniem materialov v mashinostroeniya: sb. nauch.tr. 2017. № 4 (21). S. 58-62.*

9. Ryabicheva L.A., Babich I.N. *Eksperimental'noe issledovanie davleniya RКУ-pressovaniya poroshkovykh poristykh materialov* // *Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniem materialov v mashinostroeni: sb. nauchn. tr. 2022. № 3 (40). S. 31-38.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 11.07.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 21.07.2023

Принята к публикации / Accepted 22.08.2023

© Л.А. Рябичева, И.Н. Бабич, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

Lyudmila Ryabicheva – Doctor of Technical Sciences, Professor, Luhansk Vladimir Dahl State University.

Бабич Ирина Николаевна – ассистент Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

Irina Babich – Assistant, Luhansk Vladimir Dahl State University.

Ссылка для цитирования: *Рябичева Л.А., Бабич И.Н. Исследование прочности и микротвердости наноструктурной меди, полученной равноканальным угловым прессованием* // *Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 45 - 49. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-45-49.*

For citation: *Ryabicheva L.A., Babich I.N. Study of the strength and microhardness of nanostructured copper obtained by equal-channel angular pressing* // *Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 45 - 49. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-45-49.*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ НА УРОВНЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

П.М. Мусаева

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70
pazilat.musayeva@bk.ru

Аннотация. Успешное экономическое развитие региона зависит от развития транспортной инфраструктуры. Одним из направлений развития транспортной инфраструктуры является создание единой транспортно-логистической системы в регионе. Создание такой системы является актуальным и стратегически значимым не только для Республики Дагестан, но и для Российской Федерации в рамках развития транспортных коридоров и внешнеэкономических связей со странами Азии.

Ключевые слова: груз, интеграция, инфраструктура, логистика, поток, процесс, развитие, реализация, система, стратегия, транспорт, экономика.

Abstract. Successful economic development of the region depends on the development of transport infrastructure. One of the directions for the development of transport infrastructure is the creation of a unified transport and logistics system in the region. The creation of such a system is relevant and strategically significant not only for the Republic of Dagestan, but also for the Russian Federation as part of the development of transport corridors and foreign economic relations with Asian countries.

Key words: cargo, integration, infrastructure, logistics, flow, process, development, implementation, system, strategy, transport, economics.

Введение

Координация и регулирование региональной транспортной политики в современных условиях глобализации экономики и создания транспортных коридоров является важнейшим направлением развития и совершенствования управления потоковыми процессами, связывающими различные регионы Российской Федерации, в том числе и Республику Дагестан (РД) с другими регионами и с расположенными на их территории предприятиями.

Транспорт региона является важнейшей составляющей эффективного развития экономики и особую важность приобретает в Республике Дагестан, так как является объектом реализации транспортного коридора «Север-Юг», проходящего через Дагестан и связыва-

ющего Россию с Ираном, Индией, Китаем. Транспортный коридор «Север-Юг» становится все более актуальным, так как растет транспортный грузопоток не только по Республике Дагестан, но и по другим регионам Российской Федерации.

Для решения насущных социально-экономических проблем, с учетом геостратегического положения республики и ее роли в экономике России Законом Республики Дагестан от 12 октября 2022 г. № 70 принят проект Стратегии социально-экономического развития Республики Дагестан на период до 2030.

Стратегия социально-экономического развития республики является частью общей вертикально-интегрированной системы документов стратегического планирования и про-

гнозирования региона на долгосрочную перспективу.

Стратегия-2030 определяет приоритеты, цели, задачи и направления социально-экономического развития РД, согласованные с приоритетами и целями социально-экономического развития России.

Одним из пунктов стратегии развития РД является развитие транспортной инфраструктуры республики. Достижение целей Программы до 2030 года требует решений по логистике ее транспортного обеспечения, в частности, приведения транспортной инфраструктуры РД в соответствие с возрастающими потоками грузов, а также с потребностями в освоении потоков пассажиров.

В настоящее время в сложившихся сложных экономических условиях, функционирование различных отраслей транспорта слабо согласовано, что порождает логистическую проблему, а именно, несоответствие состояния транспортного обеспечения логистических функций и операций субъектов рыночной экономики региона желательному состоянию транспортной инфраструктуры для обслуживания грузо- и пассажиропотоков.

В настоящее время это актуальная проблема определила необходимость постановки цели исследования по развитию теоретических основ и созданию методических рекомендаций по логистическому подходу к транспортному обеспечению региональной программы развития.

При всем многообразии существующих научно разработанных и апробированных моделей управления логистическими системами до сих пор отсутствуют такие разработки для развития транспорта на региональном уровне.

Между тем, востребованность научно обоснованных рекомендаций для транспорта региона очевидна, если учесть возрастание объемов производства и продажи региональной продукции на внутренних и внешних рынках, а также обусловленное этим увеличение мощности, усложнение состава и структуры материальных и людских потоков, в том числе, рекреационных, что вытекает из требований Программы социально-экономического развития РД.

Развитие транспортных коммуникаций Республики Дагестан

Успешное экономическое развитие любого региона Российской Федерации и обеспечение его интеграции в глобальную экономику невозможно представить без развитой системы транспортных коммуникаций. Для Республики Дагестана, находящегося на стыке международного транспортного коридора (МТК) «Север–Юг», это условие имеет особое значение.

К тому же современная транспортная система республики способна дать мощный толчок развитию транспортного комплекса всего Северо-Кавказского округа, а также благоприятствовать расширению внешнеэкономических связей России со странами ближнего и дальнего зарубежья.

В этой связи логистическое развитие Махачкалинского транспортного узла является актуальным и стратегически значимым не только для Дагестана и СКФО, но и для всей Российской Федерации в целом. Республика Дагестан является южным регионом и одним из немногих регионов Российской Федерации, где получили развитие практически все виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, морской, воздушный, трубопроводный. Дагестан находится на стыке многих международных путей, связывает транспортные потоки «Север - Юг» и «Восток - Запад».

Одним из основных необходимых направлений развития транспортной инфраструктуры Республики Дагестан до 2030 года является развитие транспортно-логистического комплекса дагестанского участка на участках МТК «Север-Юг» (с возобновлением проекта «Каспийский хаб») и транспортно-логистического комплекса Республики Дагестан [1]. МТК должно формироваться и развиваться на базе Махачкалинского морского торгового порта, Международного аэропорта Махачкалы, железнодорожного узла, который также включает транспортно-логистическую и обеспечивающую инфраструктуру трубопроводного транспорта, хранилищ, складов, таможенных терминалов, структур по обслуживанию грузовых железнодорожных и автомобильных потоков.

Вместе с тем, следует учитывать, что отраслевой состав транспортной инфраструктуры должен соответствовать производственной специализации региона, производственной и территориальной структуре хозяйства. Территориальные уровни транспортной инфраструктуры (магистральная общегосударственная, региональная, местная) отражают, по существу, масштаб размещения производительных сил, хозяйственную структуру обслуживаемой ею территории.

Развитие логистики в современных условиях происходит в направлении интеграции всех участников логистических процессов в цепь поставок, в которой могут принимать участие различные виды транспорта [2]. Причем, с учетом одной из базовых задач логистики – минимизации логистических затрат по всей цепи поставок – возможна функциональная взаимозаменяемость элементов производственной и транспортной инфраструктуры (видов транспорта, логистических объектов – транспорта и складов, транспорта и связи).

С нашей точки зрения, необходимо рассматривать транспортно-логистическую систему как единую в данном регионе и включать в нее инфраструктуру всех видов транспорта, что создает предпосылки исследования логистических потоков, их пространственного формирования и движения на основе комплексного подхода как одного из важных методологических принципов исследования транспортного обеспечения логистики региона [8].

При последовательном развитии транспортно-логистического комплекса Республики Дагестан со всеми ее составляющими, республика имеет реальные перспективы превратиться в крупный транзитный центр грузопотоков и торгово-транспортно-логистической сети, формировать часть своего бюджета за счет доходов от грузопотоков, успешно реализовывать эффекты от развития сопряженных отраслей экономики региона, в том числе, промышленности, строительства, туристско-рекреационного комплекса и т.д. Республика Дагестан имеет следующие перспективы:

1. Развития транспортных узлов – трубопроводного транспорта, строительство центра контейнерных перевозок железнодорожным и

морским транспортом, специализированного порта морских и автогрузовых перевозок из Азии в Европу, в том числе с восстановлением паромного сообщения с Республикой Туркмения, а также ее организацией с Республикой Казахстан и Исламской Республикой Иран.

2. Развитие авиасообщения и увеличение пассажирских и грузовых авиапотоков в страны Средней Азии, Закавказья, Малой Азии и Ближнего Востока.

3. Создание логистического каркаса Республики Дагестан: хранилищ, складов, таможенных терминалов, транспортно-логистических комплексов по обслуживанию грузовых железнодорожных и автомобильных потоков, автосервисных станций

Развитие торгово-транспортно-логистического комплекса Республики Дагестан строится на базе следующих стратегических направлений:

- создание портовой особой экономической зоны;

- модернизация системы морского транспорта (развитие морской транспортной инфраструктуры, создание грузового и пассажирского флота);

- развитие систем железнодорожного и автомобильного транспорта (модернизация железнодорожной инфраструктуры, развитие системы трубопроводного транспорта, грузового и пассажирского автомобильного транспорта);

- развитие системы авиационного транспорта (международного аэропорта-хаба и современной авиакомпании, обслуживающей аэропорт, системы малой авиации);

- формирование многоуровневой логистической системы (мультимодальных торгово-транспортно-логистических узлов трех уровней: многофункциональные терминальные комплексы интеграции железнодорожного, водного, авиационного и автомобильного транспорта, предоставляющих спектр транспортно-логистических услуг).

В пользу формирования единой транспортно-логистической системы Республики Дагестан говорит и отсутствие согласованной системы управления транспортным обеспечением потоков на уровне региона, ключевыми объектами транспортной инфраструктуры,

особенно на стыках между отдельными народнохозяйственными блоками.

Практическое значение создания единой транспортно-логистической системы региона состоит в обеспечении такой организации и управления транспортными потоками, которые позволят реализовать транспортно-логистическую парадигму хозяйственной системы Республики Дагестан.

С учетом сказанного, будем считать, что единая транспортно-логистическая система региона (ЕТЛСР) – это совокупность интегрированных элементов товаропроводящей сети региона, состоящей из многочисленных взаимодействующих и взаимосвязанных объектов логистической инфраструктуры общесетевых транспортных узлов, расположенных на территории региона, обеспечивающих реализацию общей цели функционирования системы, согласованной с общерегиональными социально-экономическими целями, и получение максимального синергетического эффекта на основе интеграции материальных, сервисных, финансовых и информационных потоков при реализации базовых функций логистики [8].

Основными системообразующими элементами ЕТЛСР, обеспечивающими продвижение товаропотоков от поставщиков к потребителям, являются ключевые объекты транспортной инфраструктуры, транспортные предприятия различных организационно-правовых форм, пункты стыковки различных видов транспорта, на которых осуществляется концентрация и перераспределение грузопотоков, центры сервисного обслуживания потребителей транспортно-логистических услуг, региональный опорно-транспортный каркас, а также объекты информационного, юридического, финансового обслуживания региональной логистики.

Единая транспортно-логистическая система региона характеризуется внутрисистемными связями и связями с внешней средой. Это система с замкнутыми входящими и выходящими потоками, поэтому связи ЕТЛСР с внешней средой определяются в основном как циклические. Функционирование единой транспортно-логистической системы региона представим в виде модели, в которой определены материальные и информационные пото-

ки, обеспечивающие взаимодействие элементов системы, включая ключевые объекты транспортной инфраструктуры по видам транспорта и по базовым логистическим функциям (рисунок).

Границы ЕТЛСР определяются ключевыми объектами транспортной инфраструктуры и интегрированными материальным потоком субъектами рынка на территории РД.

Определим основные требования к функционированию ЕТЛСР:

- согласованность информационных, ресурсных, технических и других характеристик ЕТЛСР (например, любая информация должна быть унифицирована для всех подсистем ЕТЛСР);

- системный подход – элементы ЕТЛСР рассматриваются как взаимосвязанные и взаимодействующие для достижения единой цели;

- общесистемная оптимизация – согласование локальных целей функциональных элементов региональной ЕТЛСР для достижения глобальных целей системы;

- принцип устойчивости и адаптивности – ЕТЛСР должна устойчиво работать при допустимых отклонениях параметров и факторов внутренней и внешней среды;

- принцип устойчивости и адаптивности – ЕТЛСР должна устойчиво работать при допустимых отклонениях параметров и факторов внутренней и внешней среды.

Проектируемая ЕТЛСР должна выполнять определенную миссию, достигать поставленной цели и решать определенный круг задач, ради которых она становится субъектом рыночных отношений.

Сформулируем *миссию* единой транспортно-логистической системы региона – Республики Дагестан – это реализация материальных и людских потоков в нужное время, в нужное место, с заданным качеством, по приемлемой цене при минимальных совокупных логистических издержках по всей цепи поставки грузов и доставки пассажиров.

Из миссии вытекают *цель и задачи* ЕТЛСР. *Целью* является обеспечение надежности, безопасности хозяйственных связей региона на всех видах транспорта за счет соблюдения требований клиентов.

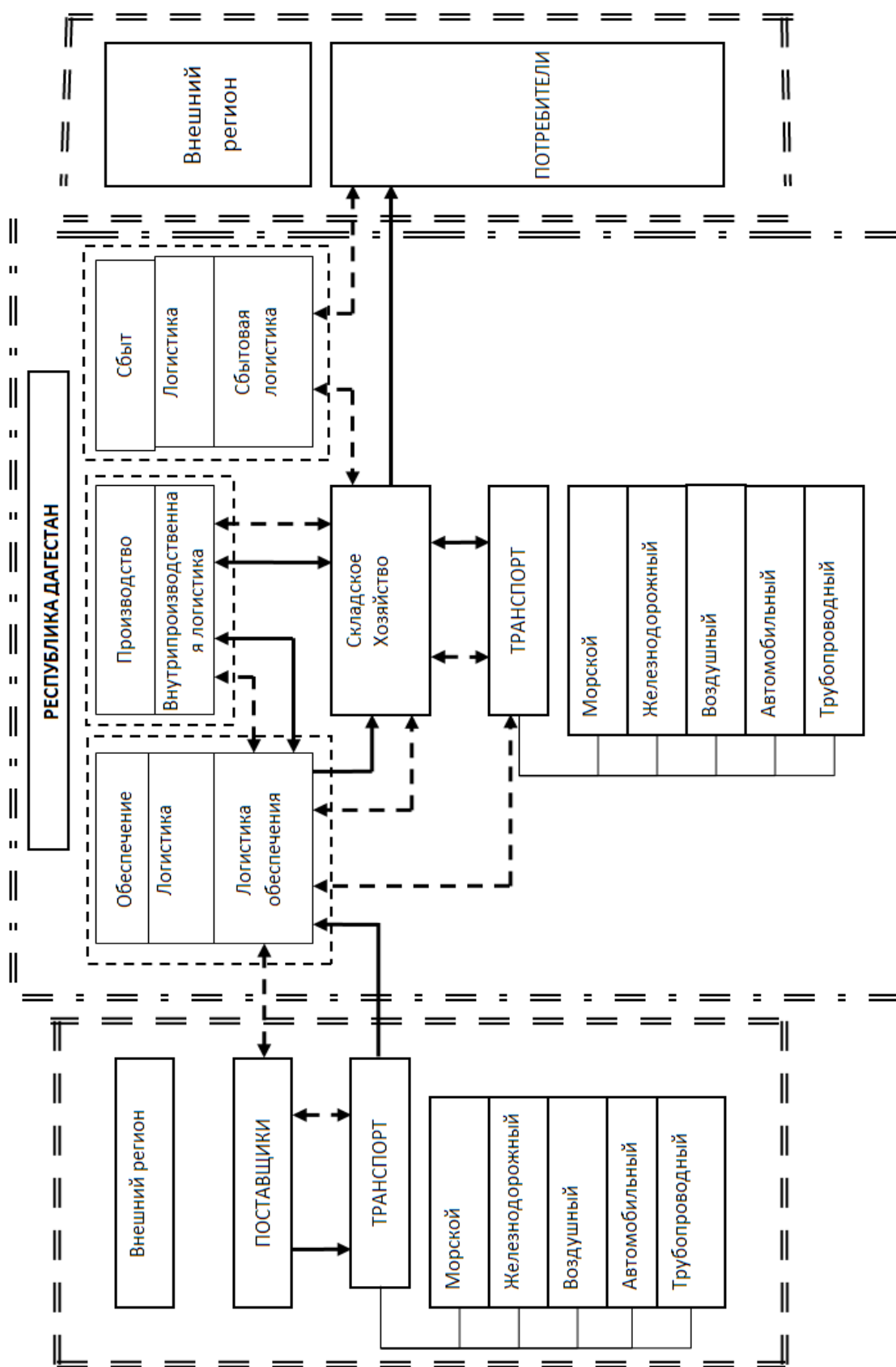


Рисунок – Модель единой транспортно-логистической системы Республики Дагестан

- > информационный поток
- > материальный поток
- == == граница логистической системы

Основными задачами единой транспортно-логистической системы региона, вытекающими из миссии, являются:

- выполнение всех видов логистических операций в регионе согласно потребностям клиентов;
- определение региональной политики в области развития транспортной инфраструктуры, внедрение новых методов обслуживания клиентов транспортными услугами;
- анализ состояния транспортного обеспечения региона;
- осуществление контроля реализации логистических операций по всей цепи поставки грузов и доставки пассажиров.

Для выполнения основных задач единая транспортно-логистическая система региона должна реализовывать следующие функции:

- выполнение всех видов перевозок и сервисных услуг, сопутствующих перевозкам;
- осуществление периодического контроля за организацией работ по соблюдению технологии перевозочного процесса по региональным и межрегиональным цепям поставок;
- обобщение передовых методов и технологий перевозок и подготовки подвижного состава к эксплуатации в регионе и за его пределами и разработка рекомендаций по их внедрению;
- участие в лицензировании и сертификации на региональном уровне;
- участие во внедрении современных методов управления цепочкой поставки;
- организация и проведение школ передового опыта, семинаров, конкурсов и курсов повышения квалификации по вопросам логистического менеджмента на региональном уровне.

К основным задачам и функциям управленческих подразделений предприятий – звеньев ЕТЛСР в области нормирования относятся:

- нормативно-правовое обеспечение проведения единой политики в области нормирования труда во всех звеньях ЕТЛСР;
- создание единой системы управления нормированием труда, обеспечивающей возможность ее оперативного совершенствования;

- обеспечение нормирования труда на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации объектов производственной (транспортной) и социальной инфраструктуры;

- формирование и введение в действие эффективных форм и методов организации работ по нормированию труда, обеспечивающих регламентированное участие в них работников во всех управленческих структурах, на всех стадиях производственного процесса;

- организация разработки отраслевых программ (на срок не более пяти лет) и ежегодных планов нормативно-исследовательских работ по труду, направленных на создание и совершенствование единой нормативно-методической базы для нормирования труда;

- координация нормативно-исследовательских работ по труду в рамках ЕТЛСР;

- формирование системы материального и морального стимулирования работников и трудовых коллективов, направленной на улучшение состояния нормирования труда, снижение трудоемкости работ и оптимизации численности работников в ЕТЛСР;

- взаимодействие с Минтрудом России и его организациями в целях улучшения состояния нормирования труда;

- пропаганда и внедрение в отрасли передового опыта в области нормирования труда во всех звеньях ЕТЛСР;

- осуществление методического руководства работой по обучению и повышению квалификации работников в области нормирования труда рабочих и служащих предприятий – звеньев ЕТЛСР, в первую очередь, инфраструктурных отраслей [8].

Таким образом, создание единого подхода к реализации такой важнейшей функции управления как нормирование призвано способствовать соблюдению интересов звеньев ЕТЛСР и участников цепей поставок при взаимодействии, обеспечивать единый методический подход к формированию кадровых потоков региона.

Развитие торгово-транспортно-логистического комплекса РД должно строиться на базе следующих стратегических направлений:

- создание портовой особой экономической зоны;

- модернизация системы морского транспорта (развитие морской транспортной инфраструктуры, создание грузового и пассажирского флота);

- развитие систем железнодорожного и автомобильного транспорта (модернизация железнодорожной инфраструктуры, развитие системы трубопроводного транспорта, грузового и пассажирского автомобильного транспорта);

- развитие системы авиационного транспорта (международного аэропорта-хаба и современной авиакомпании, обслуживающей аэропорт, системы малой авиации);

- формирование многоуровневой логистической системы (мультимодальных торгово-транспортно-логистических узлов трех уровней: многофункциональные терминальные комплексы интеграции железнодорожного, водного, авиационного и автомобильного транспорта, предоставляющих спектр транспортно-логистических услуг).

В рамках реализации стратегического проекта 2022-2030 годы, должны быть реализованы следующие мероприятия по развитию транспортной инфраструктуры:

- строительство отдельной подъездной автодороги к Махачкалинскому морскому торговому порту;

- реконструкция Международного аэропорта «Махачкала» со строительством новой взлетно-посадочной полосы;

- реконструкция железнодорожного пункта пропуска «Дербент» со строительством станции Самур-II в непосредственной близости к государственной границе Российской Федерации;

- строительство необходимой морской инфраструктуры, в том числе в целях развития морского и круизного туризма;

- открытие паромного сообщения по маршрутам «Махачкала – Иран» и «Махачкала – Туркменистан», а в перспективе и «Махачкала – Казахстан»;

- обеспечение доступности всех районных центров автомобильными дорогами с твердым покрытием;

- создание пунктов придорожной инфраструктуры на основных туристских маршрутах республики;

- реконструкция участков федеральных автодорог на территории РД;

- дополнительное обустройство дорог за счёт нарушителей правил дорожного движения [1].

Заключение

Интеграционные процессы определяют в настоящее время направления развития экономики и являются основой их эффективности функционирования и развития. Ситуация, сложившаяся в экономике, характеризуется все возрастающей ролью организаций, имеющих многообразные устойчивые взаимовыгодные логистические связи, благодаря которым имеют более высокий уровень и темп развития, усиливая свое влияние на рынке. В практике сложились разнообразные типы интеграции, различающиеся в зависимости от целей сотрудничества, характера хозяйственных отношений между их участниками, степени самостоятельности входящих в объединение предприятий. Вне зависимости от того, каким образом формируется потенциал интеграции, совместная деятельность требует сбалансированных согласованных взаимодействий в формате логистических процессов с операционной детализацией.

Библиографический список

1. Закон Республики Дагестан от 12.11.22 г. № 70 Стратегия социально-экономического развития Республики Дагестан на период до 2023 года.
2. Бережной В.И., Порожня Т.А. Формализация логистических потоков // Экономика и менеджмент на транспорте: сб. науч. трудов: Вып. 2. СПб.: СПбГИЭУ, 2002. С. 13-16.
3. Гордон М.П., Карнаухов С.Б. Логистика товародвижения. М.: Центр экономики и маркетинга, 2001. 200 с.
4. Григорак М.Ю. Теоретические основы логистического менеджмента // Логистика: современные тенденции развития: V международная научно-практическая конференция 20-21 апреля 2006 г.: тез. докл.: отв. ред.: В.С. Лукинский, С.А. Уваров, Е.А. Королева. СПб.: СПбГИЭУ, 2006. С. 61 – 65.

5. Джонсон Д., Вуд Д.Ф., Вордлоу Д.Л.. Современная логистика. М.: Вильямс, 2002. 624 с.
6. Залманова М.Е. Логистика бизнес-систем. Саратов: СГТУ, 1997. 88 с.
7. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок / пер. с англ. под общ. ред. В.С. Лукинского. СПб.: Питер, 2002. 316 с.
8. Левиков Г.А. Управление транспортно-логистическим бизнесом: учеб. пособие. М.: Консультант, 2004. 144 с.
9. Мусаева П.М., Пахомова А.В. Формирование единой транспортно-логистической системы региона – Республики Дагестан // Логистика, инновации, экономика: сб. науч. тр. по материалам межвуз. науч.-практ. конф. 14 апреля 2007 г. Саратов: СГТУ, 2007. С.95-100.
10. Проценко О.Д., Новиков Д.Т., Голиков Е.А., Карнаухова С.Б. Развитие логистики в России // Логистика, менеджмент, маркетинг, коммерция: теория и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф. / СГЭА. Самара, 2001. С. 46-49.

Referenses

1. Zakon Respubliki Dagestan Ot 12.11.22 g. № 70 Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Dagestan na period do 2023 goda.
2. Berezhnoj V.I., Porohnya T.A. Formalizatsiya logisticheskikh potokov // Ekonomika i menedzhment na transporte: sb. nauch. trudov: Vyp. 2. SPb.: SPbGIEU, 2002. S. 13-16.
3. Gordon M.P., Karnauhov S.B. Logistika tovarodvizheniya. M.: Centr ekonomiki i marketinga, 2001. 200 s.
4. Grigorak M.Yu. Teoreticheskie osnovy logisticheskogo menedzhmenta // Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya: V mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 20-21 aprelya 2006 g.: tez. dokl.: otv. red.: V.S. Lukinskij, S.A. Uvarov, E.A. Koroleva. SPb.: SPbGIEU, 2006. S. 61 – 65.
5. Dzhonson D., Vud D.F., Vordlou D.L.. Sovremennaya logistika. M.: Vil'yams, 2002. 624 s.
6. Zalmanova M.E. Logistika biznes-sistem. Saratov: SGTU, 1997. 88 s.
7. Kristofer M. Logistika i upravlenie cepochkami postavok / per. s angl. pod obshch. red. V.S. Lukin-skogo. SPb.: Piter, 2002. 316 s.
8. Levikov G.A. Upravlenie transportno-logisticheskim biznesom: ucheb. posobie. M.: Konsul'tant, 2004. 144 s.
9. Musaeva P.M., Pahomova A.V. Formirovanie edinoj transportno-logisticheskoy sistemy regiona – Respubliki Dagestan // Logistika, innovatsii, ekonomika: sb. nauch. tr. po materialam mezhvuz. nauch.-prakt. konf. 14 aprelya 2007 g. Saratov: SGTU, 2007. S.95-100.
10. Procenko O.D., Novikov D.T., Golikov E.A., Karnauhov S.B. Razvitie logistiki v Rossii // Logi-stika, menedzhment, marketing, kommerciya: teoriya i praktika: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / SGEA. Samara, 2001. S. 46-49.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 03.09.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 19.09.2023

Принята к публикации / Accepted 25.09.2023

© П.М. Мусаева, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Мусаева Пазилат Магомедовна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного технического университета.

Pazilat Musaeva – Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department of Technology and Organization of Construction Production, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Мусаева П.М.* Перспективы развития транспортно-логистической интеграции на уровне Республики Дагестан // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 3. С. 50 - 57. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-50-57.

For citation: *Musaeva P.M.* Prospects for the development of transport and logistics integration at the level of the Republic of Daghestan // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 50 - 57. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-50-57.

Правила оформления и представления статей

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

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

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

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

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

14. Статьи публикуются бесплатно.

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

2.1. Строительство и архитектура

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

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь

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

2.5. Машиностроение

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

2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия

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

2.8. Недропользование и горные науки

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

2.9. Транспортные системы

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

4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

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

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2023 № 3 (Том 4)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2023 № 3 (Vol. 4)**

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

Подписано в печать 27.09.2023 г. Дата выхода в свет 29.09.2023 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 176

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 ”