

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЗАО «БРЕСТСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК»

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ**

Сборник статей
международной научно-практической конференции
Часть 1

Брест 2024

УДК 69:331.36(08)
ББК 38:74.04р
П27

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Шалобыта Н. Н. – проректор по научной работе, к. т. н., доцент

Члены редколлегии:

Онысько С. Р. – декан машиностроительного факультета, к. т. н., доцент

Мешик О. П. – декан факультета инженерных систем и экологии, к. т. н., доцент

Парфиевич А. Н. – декан факультета электронно-информационных систем, к. т. н., доцент

Зазерская В. В. – декан экономического факультета, к. э. н., доцент

Павлова И. П. – декан архитектурно-строительного факультета, к. т. н., доцент

Рецензенты

Железяко В. И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой мелиорации и водного хозяйства УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Найчук А. Я. – профессор, д. т. н., доцент кафедры строительных конструкций УО «Брестский государственный технический университет»

П27 Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. в 2-х ч. / редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2024. – Ч. 1. – 293 с.

ISBN 978-985-493-644-4 (ч.1).

ISBN 978-985-493-643-7.

В сборник вошли научные статьи по итогам международной научно-практической конференции «Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров» (31 октября – 2 ноября 2024 г., Брест), в которых рассматривается широкий спектр перспектив и возможностей инновационного развития предприятий, регионов и отраслей, а также инструменты инновационной макроэкономической политики.

УДК 69:331.36(08)
ББК 38:74.04р

ISBN 978-985-493-644-4 (ч.1)
ISBN 978-985-493-643-7

© Издательство БрГТУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

<i>Акула И. П., Чекан Н. М., Хома М. Ю., Онысько С. Р., Ramesh M. R., Joladarashi Sh., Kadoli R.</i> КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ AlCr(C)N/Zr(C)N	6
<i>Веремейчик А. И., Нерода М. В., Холодарь Б. Г., Хеук М. В.</i> ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 40X13 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ И ЛЕГИРОВАНИЯ	17
<i>Веремейчик А. И., Холодарь Б. Г.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКЕ	23
<i>Калиниченко В. А., Андрушевич А. А., Долгий Л. П., Марцева С. В.</i> ВЫПЛАВКА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ	31
<i>Капитонов А. В.</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЯ БЕГОВЫХ ДОРОЖЕК ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ	37
<i>Левданский А. М., Кудрицкий Я. В., Ялковский Н. С.</i> ПОЯВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗАМИ ГАЗОРАЗРЕДЕЛЕНИЯ	51
<i>Лозиков И. А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТМО МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ	55
<i>Монтик С. В.</i> ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ДЕТАЛИ МАШИН»	67
<i>Худайбердиев Ш., Батыров С., Чарыяров Б., Гылычгельдиев Г.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ПУТЕМ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ	75

СЕКЦИЯ 2

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ

<i>Tairov A. Z., Leman M.</i> A DYNAMIC-STOCHASTIC APPROACH TO THE DETERMINATION OF THE OPTIMUM LEVEL FOR RESERVOIR FILLING	80
<i>Андреюк С. В., Крук А. С.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОД ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ	88
<i>Аннабердиев Ш., Гурбансхедов А., Рахмедов О., Алламырадов Я.</i> ЭКОЛОГИЗАЦИЯ КАК ПРОЦЕСС ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	97

<i>Ануфриев В. Н., Волкова Г. А.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА РЕАГЕНТНУЮ ВОДОПОДГОТОВКУ	102
<i>Артемчик А. А., Левкевич В. Е.</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	109
<i>Волчек А. А., Городнюк Ю. П.</i> СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ	119
<i>Волчек А. А., Кухаревич М. Ф., Парфомук С. И., Сидак С. В., Шешко Н. Н., Шпендик Н. Н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ	126
<i>Волчек А. А., Окоронко И. В.</i> ОЦЕНКА СЕНСОРНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОДОСБОРОВ БАСЕЙНА Р. ЯСЕЛЬДЫ	143
<i>Вострова Р. Н., Пехота А. Н., Малофей В. А.</i> ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	153
<i>Голубенко М. И., Мажайский Ю. А.</i> КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ НА СКЛОНАХ ОВРАГА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНА НА ПРИМЕРЕ ПАТРИАРШЕГО САДА ГОРОДА ВЛАДИМИРА	161
<i>Дангатарова М. С., Язлыева С. М., Нурсахатов М. К., Курбандурдыев М. Ч.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ	167
<i>Джумаев А. Я., Какабаев А. С.</i> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	173
<i>Житенев Б. Н., Сенчук Д. Д.</i> ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ СВИНЦА ФИЛЬТРАМИ, ЗАГРУЖЕННЫМИ ИЗМЕЛЬЧЕННЫМ БРИКЕТИРОВАННЫМ ТОРФОМ	181
<i>Исаев О. И.</i> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	188
<i>Каперейко Ю. В.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ	197
<i>Макар К. А., Яротов А. Е.</i> ПОТЕНЦИАЛ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ БЫХОВСКОГО РАЙОНА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВИДОВ ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННОГО ТУРИЗМА	202

<i>Мамедова Т. Т., Батыров С. Р.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ И ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «МАРЫАЗОТ» ...	209
<i>Мешик О. П., Борушко М. В., Мажайский Ю. А., Асаулов Р. В., Кароза А. И.</i> СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ	218
<i>Москаленко К. А.</i> УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК	230
<i>Новосельцев В. Г., Новосельцева Д. В., Лукаш В. В.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОРИТЕТОВ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОЕКТУ	236
<i>Папаскири Т. В., Липски С. А., Рассказова А. А., Фаткулина А. В.</i> АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН	246
<i>Пехота А. Н., Хрусталева Б. М., Голубев В. П., Вострова Р. Н., Згурский Д. А.</i> АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ: НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ	253
<i>Пехота Е. А., Пантюхов О. Е., Хрусталева Б. М., Пехота А. Н.</i> РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ КОММУНАЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	262
<i>Пехота Е. А., Романюк В. Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕГАЗАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГАЗГОЛЬДЕРОВ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕГАЗАЦИОННО-ВЕНТИЛЯЦИОННОГО УСТРОЙСТВА	269
<i>Сарыев М., Аллакулыев Ш., Ходжалыев А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОТУРБИНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ	275
<i>Урецкий Е. А., Мороз В. В.</i> РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ ВОДНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО СЕЛЕКЦИОННО-ГИБРИДНОГО ЦЕНТРА «ЗАПАДНЫЙ»	283

СЕКЦИЯ 1

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.785.532:539.234

КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ AlCr(C)N/Zr(C)N

*И. П. Акула, к. т. н., физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

*Н. М. Чекан, к. ф.-м. н., физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

*М. Ю. Хома, физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

*С. Р. Онысько, к. т. н., Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

M. R. Ramesh, As. Prof., National Institute of Technology Karnataka, Karnataka, India

Sh. Joladarashi, National Institute of Technology Karnataka, Karnataka, India

R. Kadoli, National Institute of Technology Karnataka, Karnataka, India

Реферат

Получена и исследована система Zr(C)N/AlCr(C)N как составная часть композиционного покрытия, предназначенного для повышения эксплуатационного ресурса штоков гидравлических цилиндров и иных деталей взамен покрытий гальванического твердого хрома. Методом катодного дугового осаждения в вакууме с использованием как сепарированной, так и несепарированной плазмы были нанесены многослойные покрытия ZrN , ZrCN , AlCrN и AlCrCN в различной конфигурации на поверхность полированных образцов из стали 40Х. Исследован химический состав осажденных покрытий и их фазовое состояние. Установлено наличие широких переходных зон по элементному составу в области границы раздела основа - покрытие. Определен тип покрытий бинарных ZrN и трехэлементных покрытий AlCrN как В1. Введение в их состав углерода приводит к формированию твердых растворов замещения в подрешетке неметаллов без изменения кристаллической структуры. Анализ коррозионной стойкости полученных многослойных покрытий выявил, что покрытия с использованием нижнего слоя AlCrN/AlCrCN и верхнего слоя ZrN/ZrCN обладают коррозионной стойкостью более чем в 7 раз выше относительно других вариантов нитридных и карбонитридных многослойных покрытий; ток коррозии для стальных образцов 40Х с данными покрытиями на два порядка ниже, чем для образцов без покрытий.

Ключевые слова: сепарация плазмы, композиционное покрытие Zr(C)N/AlCr(C)N , химический состав, кристаллическая фаза, коррозионная стойкость.

COMPOSITE COATING AlCr(C)N/Zr(C)N

I. P. Akula, N. M. Chekan, M. Ju. Homa, S. R. Onysko,
M. R. Ramesh, Sh. Joladarashi, R. Kadoli

Abstract

A thin solid film system of Zr(C)N/AlCr(C)N was obtained and characterized. The solid film system is a upper part of a designing composite coating aimed to replace hard galvanic chromium commonly deposited onto plungers of hydro cylinders and other machine parts and technological accessories. The vacuum arc deposition method was applied in both non-filter mode and filter mode of the arc plasma to control a macroparticle content in the coatings deposited onto polished substrates made of grade 40X steel. Crystalline structures of these nitrides and carbonitrides were determined as B1 with formation of the solid solutions of carbon in the nitride sublattice. The research of element composition revealed a broad transit area at the film interfaces due to a high energy capacity of both zirconium and aluminium-chromium plasma. One of the most important performances of the coatings replaced hard chrome is their corrosion resistance. It was shown that the two layer, coating of AlCrN/AlCrCN (lower layer) and ZrN/ZrCN (top layer) possessed an excellent anti-corrosion property, which corrosion current is 7 times lower comparing with that of other layer combinations as well as two order of magnitude lower than that of the carbon steel substrate.

Keywords: plasma separation, Zr(C)N/AlCr(C)N composite coating, chemical composition, phase structure, corrosion resistance

Введение

Износостойкие покрытия, формируемые методами физического осаждения в вакууме (PVD) стали неотъемлемым атрибутом современного машиностроения, поскольку позволяют существенно улучшить эксплуатационные характеристики узлов машин и механизмов. Одной из областей применения, где такие покрытия могут показать высокую эффективность от их использования, является защита рабочих элементов гидроприводов, повсеместно используемых в автотракторной технике, авиации, роботизированных системах.

В процессе эксплуатации важнейшие элементы гидропривода – гидравлические цилиндры, поршни, штоки – испытывают значительные нагрузки и подвергаются изнашиванию, которое усиливается при воздействии агрессивных сред – солевых растворов, пыли, песка. У изношенных штоков на рабочей поверхности наблюдаются риски, царапины, отслаивания хромового покрытия, царапины, кольцеобразные следы вмятин, следы схватывания и коррозии [1]. Восстановление работоспособности гидроцилиндров является трудоемкой операцией и требует выполнения разборочно-сборочных работ, при проведении которых очень важно избежать появления дефектов, обусловленных перекосом сопрягаемых частей, разрывом или проворачиванием уплотнителей и так далее. Кроме того, при разборке-сборке гидроцилиндров к некоторым деталям требуется прилагать значительные усилия, что исключает ручную сборку и требует применения специализированных стендов. Поэтому актуальным вопросом является повышение срока эксплуатации гидроприводов. В настоящее время

на подавляющее большинство штоков наносится покрытие гальванического хрома (так называемый «твердый хром», или ГТХ), которое позволяет повысить срок службы изделия [2].

Существенным недостатком защитного гальванического хромового покрытия является наличие в нем пор и трещин, что может приводить к отслоению покрытия от основы и ее быстрому коррозионно-абразивному изнашиванию. Основным принципиальным недостатком технологического процесса гальванического хромирования связан с высокой токсичностью соединений шестивалентного хрома – побочного продукта гальванического процесса – и повышенными требованиями к системам вентиляции, утилизации электролита и водоочистки. После того, как процесс получения шестивалентного хрома в 90-е годы XX века был признан приводящим к появлению токсичных соединений, началась активная разработка альтернативных покрытий и безопасных методов их получения.

Анализ литературных данных [3] показывает, что наиболее эффективной альтернативой ГТХ являются покрытия на основе карбида вольфрама, никеля, хрома, кобальта, получаемые одной из разновидностей газотермического напыления – методом HVOF (High Velocity Oxygen Fuel), что дословно означает высокоскоростное кислородное топливо, и известно также под названием «высокоскоростное газопламенное напыление».

Метод HVOF реализуется довольно просто на воздухе, но требуется устройство газотермического напыления со специальной камерой сгорания для создания высокого давления истечения газовой струи порядка (7–9) атм., за счет которого обеспечивается сверхзвуковая скорость напыляемых частиц (число Маха 3–5), что в свою очередь дает возможность получать плотные покрытия (пористость менее 1 %) с хорошей адгезией к основе [3]. Вместе с тем покрытия, получаемые методом HVOF, в частности NiCr, имеют ряд существенных недостатков и далеко не по всем свойствам превосходят покрытия твердого хрома. Наиболее сложными остаются проблемы с пористостью и шероховатостью рабочей поверхности. Для получения однородного слоя с достаточно небольшой плотностью сквозных пор на рабочей поверхности требуется значительное увеличение их толщины, что ведет к повышению шероховатости, а также увеличению вероятности отслоения покрытия с поверхности основы в процессе эксплуатации изделия. В результате требуется вводить дополнительную операцию шлифовки или полирования рабочей поверхности штоков гидроцилиндров. Для улучшения коррозионной стойкости напыленных покрытий HVOF приходится добавлять дорогостоящий кобальт в их состав, иначе коррозионная стойкость оказывается ниже коррозионной стойкости ГТХ [4].

Для решения этих проблем предлагается использовать гибридную технологию нанесения покрытий как методами HVOF, так и методами PVD путем формирования композиционного покрытия AlCr(C)N/Zr(C)N на функциональном покрытии HVOF.

Покрытия карбонитрида циркония обеспечивают лучшую износо- и коррозионностойкость по сравнению с широко используемым нитридом титана. Это связано с тем, что при равных условиях осаждения шероховатость покрытий ZrCN ниже, чем для TiN, (примерно в 1,5–2 раза) и существенно не увеличивается с ростом толщины осаждаемого тонкопленочного материала. Карбонитриды переходных металлов являются хорошим примером материалов,

сочетающих в себе не только оптимальную комбинацию элементов, но и требуемую кристаллографическую структуру в виде гранецентрированной кубической решетки, которая характерна для всех сверхтвердых материалов. Они имеют высокую адгезию к основам из различных сталей, сочетают в себе высокую пластичность и износостойкость что в конечном итоге позволяет многократно увеличить ресурс деталей, механизмов и различного рода технологической оснастки [5, 6]. В свою очередь покрытие AlCrN особенно привлекательно из-за его превосходной стойкости к окислению и достаточно высоких механических свойств, а также химической стабильности [7]. AlCrN обладает хорошей износостойкостью благодаря образованию восстанавливаемых оксидных слоев на изнашиваемых поверхностях, имеющих более низкие коэффициенты трения.

В связи с вышеизложенной информацией было сделано предположение, что вакуумное катодно-дуговое нанесение слоев нитрида хром-алюминия и карбонитрида циркония на поверхность основного слоя WC-NiCr позволит снизить сквозную пористость функционального покрытия, так как плазма благодаря своей способности "обволакивать" сложнопрофильные поверхности и равномерно распределяться по ним будет приводить к осаждению покрытий AlCrN/ZrCN в порах покрытия NiCr и в значительной степени закрывать их. К тому же, будучи существенно более твердым и износостойким покрытие AlCr(C)N/Zr(C)N в значительной степени увеличит срок службы основного покрытия NiCr. В свою очередь основное покрытие NiCr, являясь много тверже стали позволит избежать растрескивания и отслаивания PVD покрытий, которые характеризуются как высокой или сверхвысокой твердостью, так и значительной хрупкостью.

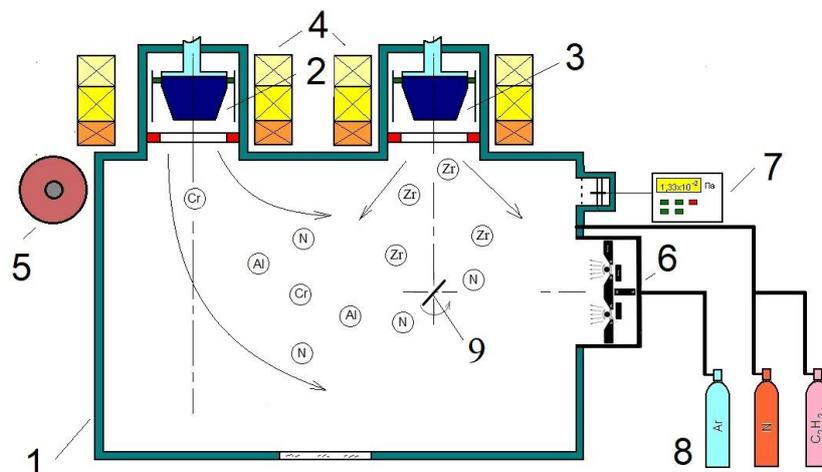
В настоящей статье рассматриваются вопросы получения и исследования покрытий системы AlCr(C)N/Zr(C)N на стали 40X, из которой обычно изготавливаются штоки гидравлических цилиндров.

Методика эксперимента

Покрытия AlCr(C)N/Zr(C)N осаждались на основу из стали 40X с использованием вакуумной установки УВНИПА-1-001 катодно-дуговым методом, реализация которого схематически представлена на рисунке 1. Для формирования покрытий AlCr(C)N использовался катод специального состава Al 70 ат. %, Cr 30 ат. %, изготовленный методом горячего прессования в вакууме смеси порошков металлов. Для осаждения покрытий Zr(C)N использовался катод из циркония марки Э110. Металлическая плазма формировалась с помощью источников стационарной металлической плазмы. При этом выполнялась сепарация плазмы с целью удаления макрочастиц для сильно эродируемого катода AlCr, в то же время для плазмы циркония сепарация не проводилась. Параметры осаждения покрытий приведены в таблице 1. Схема чередования слоев покрытия на основе из полированной стали 40X показана на рисунке 2.

Информация о химическом составе и структуре сформированных покрытий была получена методами микрозондовой энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на приставке Philips SEN-15 к сканирующему электронному микроскопу Tescan MIRA 3 LMU. Исследования структуры и элементного состава были выполнены на поперечном шлифе покрытий. Фазовый состав покрытий исследовался методами рентгеновской дифракции с использованием

дифрактометра GNR Explorer (Италия) с методом съемки скользящим пучком под углом 1° – 5° . Использовалось $K\alpha$ излучение медного катода на длине волны $\lambda = 0,154060$ нм.



1 – вакуумная камера; 2 – система электромагнитных катушек для управления движения катодных пятен и отклонения потока плазмы; 3 – источник несепарированной плазмы с катодом Zr; 4 – источник сепарированной плазмы с катодом AlCr; 5 – отклоняющие электромагнитные катушки; 6 – газовый ионно-лучевой источник; 7 – вакуумметр; 8 – газовые баллоны; 9 – основа

Рисунок 1 – Схема осаждения покрытий с использованием вакуумной установки УВНПА-1-001

Таблица 1 – Условия получения покрытий AlCr(C)N / Zr(C)N

№ образца	Многослойное покрытие	Катод	Ток дуги, А	Парциальное давление газа, Па $\times 10^{-2}$		Напряжение смещения, В	Время, мин
				N ₂	C ₂ H ₂		
1	ZrN/ZrCN	Zr	90/90	1,8/1,5	1,0	-100	5/15
2	AlCrN/AlCrCN	AlCr	55/55	1,3/1,3	0,7		10/20
3	AlCrN	AlCr	55	1,3	–		10
	ZrN/ZrCN	Zr	90/90	1,8/1,5	1,0		5/15
4	AlCrN/AlCrCN	AlCr	55/55	1,3/1,3	0,7		7/10
	ZrN/ZrCN	Zr	90/90	1,8/1,5	1,0		5/20
5	ZrN/ZrCN	Zr	90/90	1,8/1,5	1,0	5/15	
	AlCrN	AlCr	55	1,3	–	10	
6	ZrN/ZrCN	Zr	90/90	1,8/1,5	1,0	5/20	
	AlCrN/AlCrCN	AlCr	55/55	1,3/1,3	0,7	7/10	

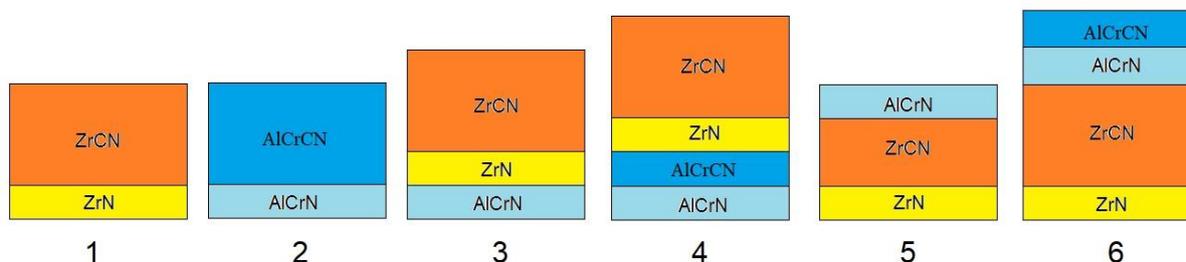


Рисунок 2 – Схема расположения слоев в композиционных покрытиях

Коррозионная стойкость сформированных покрытий определялась электрохимическими исследованиями при помощи потенциостата Multi Autolab M-204 в 3 %-ном водном растворе NaCl.

Результаты исследований

Данные по распределению химических элементов представлены на рисунке 3.

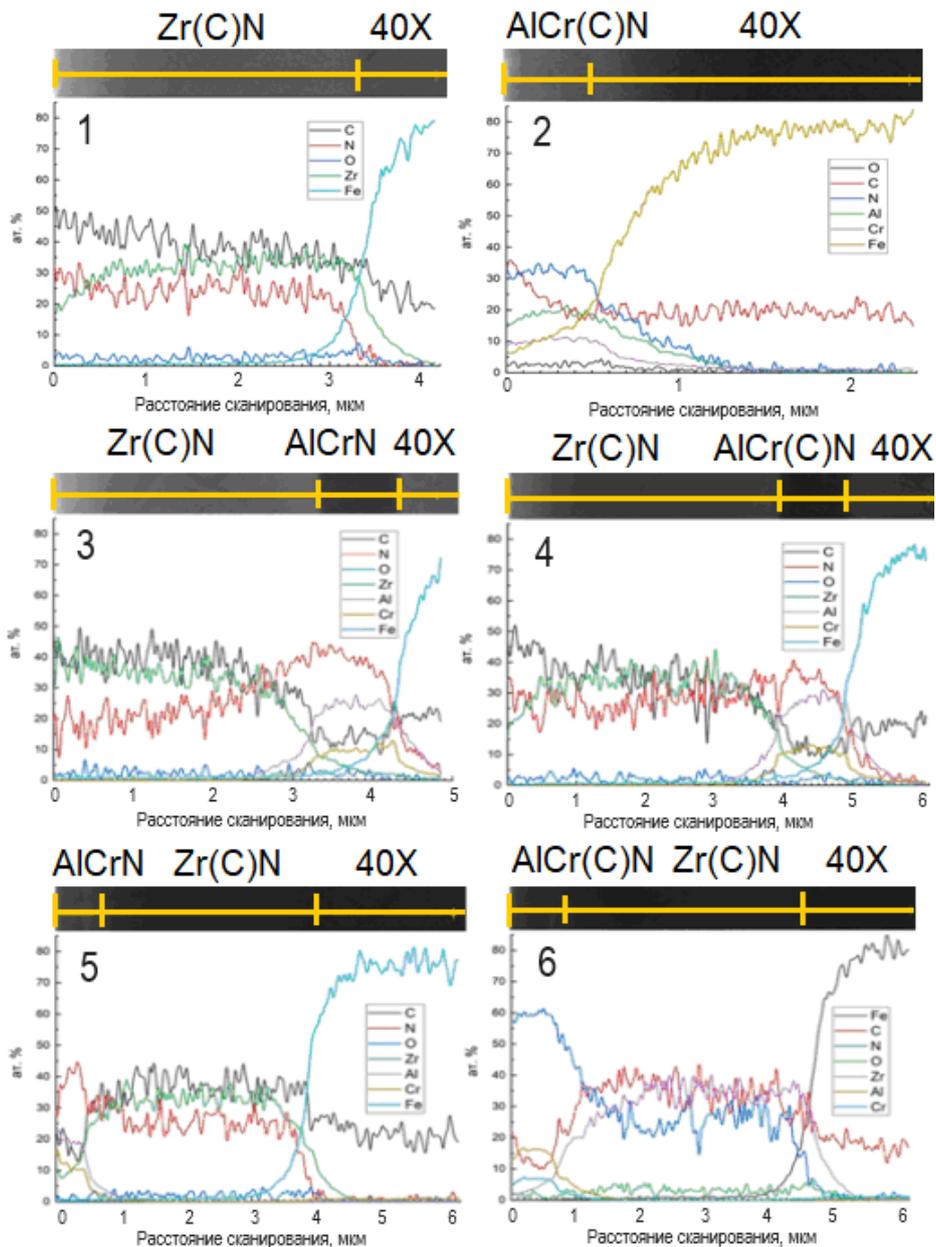


Рисунок 3 – Распределение химических элементов в поперечном шлифе покрытий от поверхности к основе вдоль желтой линии. Номера рисунков соответствуют номерам образцов покрытий таблицы 1 и рисунка 2

На изображении поверхности видна граница раздела между покрытием и основой. Толщина композиционного покрытия составляет (3,2–4,5) мкм. Толщина покрытия ZrCN составляет порядка 3,5 мкм., а покрытия AlCrCN – 0,5 мкм. Это связано с условиями нанесения покрытий, когда тонкопленочный материал AlCrCN формировался из потоков плазмы в условиях электромагнитной сепарации, существенно уменьшающих скорость нанесения покрытий. На графике элементного состава на границе раздела между основой и покрытием виден переходный слой, что связано, скорее всего, с шероховатостью поверхности основы. Отношение атомарного содержания Al и Cr в покрытии находится в пределах от 1,7 до 2,3 и на верхнем пределе приблизительно соответствует составу катода (Al 70 ат. %, Cr 30 ат. %).

На рисунке 4 представлен фазовый анализ покрытий, выполненный в скользящем (вдоль границы раздела "покрытие – основа"), что позволило получить детальную информацию о структуре многослойных покрытий. Нарушение целостности системы покрытий № 6 не позволило выполнить ее фазовый анализ.

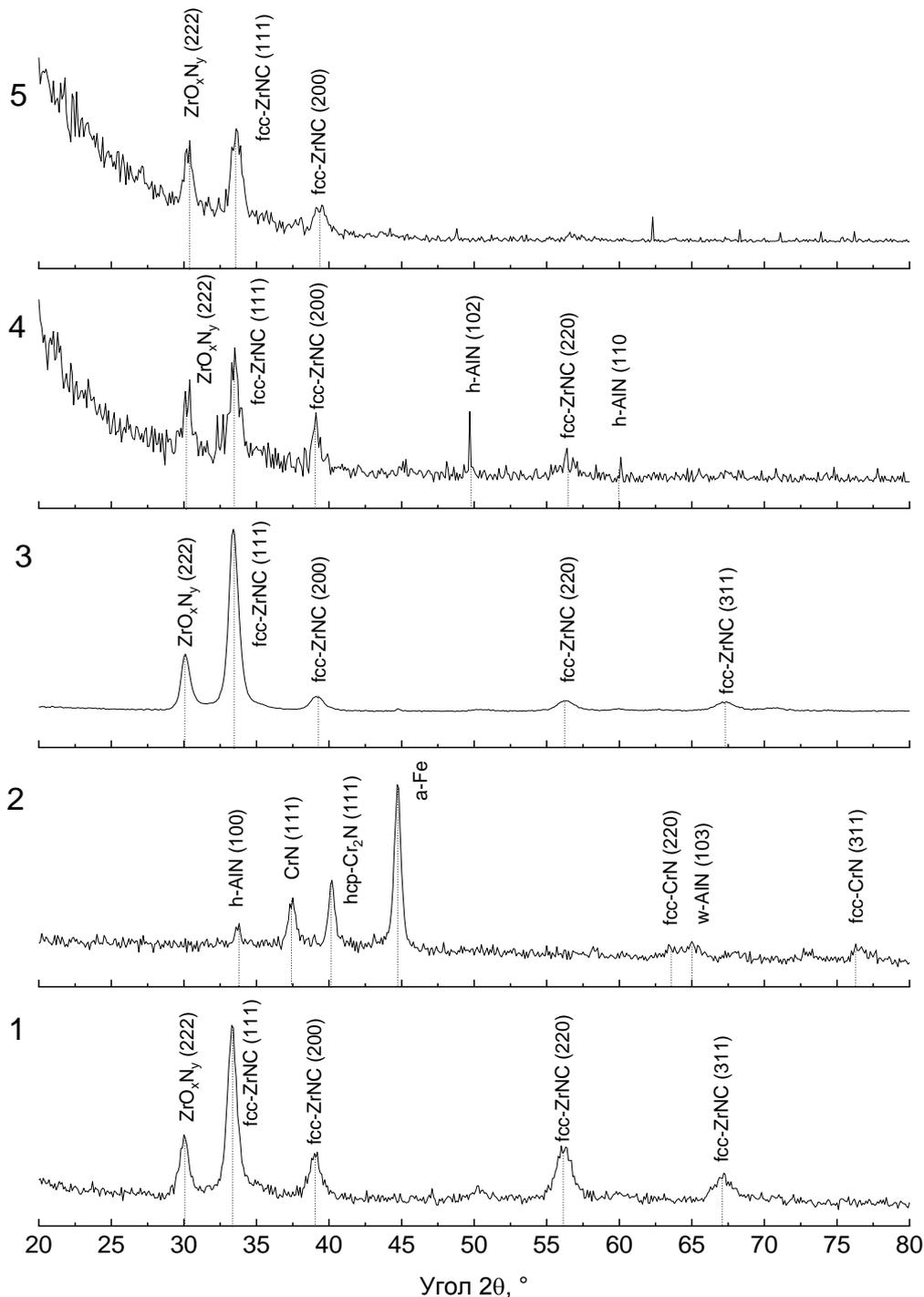


Рисунок 4 – Дифрактограммы, полученные в скользящем рентгеновском излучении для образцов покрытий ZrCN/AlCrCN в соответствии с их номерами на рисунке 2

На рентгенограмме для покрытия ZrCN присутствуют пики при $33,2^\circ$ (111), $38,9^\circ$ (200), $56,2^\circ$ (220) и $67,3^\circ$ (311), которые ассоциируются с твердым раствором замещения углерода в структуре ZrN путем встраивания в узлы подрешетки неметаллов. Покрытия ZrCN имеют ГЦК-структуру [8]. Рентгенофазовый анализ свидетельствует, что полученный тонкопленочный материал является

композиционным с кристаллитами $ZrCN$, равномерно расположенными по объему осажденного материала. Преобладающей является интенсивность рефлекса (111). Проявления такого рода осевой текстуры характерно для пленок керамик циркония и титана, полученных при относительно низких температурах основы [9]. Ориентирующее влияние подложки объясняется большим значением межфазной энергии для плотноупакованных плоскостей (111) ГЦК решетки нитридов и карбидов циркония [10]. Рост температуры основы приводит к смене текстуры на (222) из-за конкурирующего влияния ростовых напряжений, вызываемых несоответствием параметров кристаллических решеток основы и пленки [9]. Стоит упомянуть пик при 30° (222). По литературным данным его появление может быть связано с появлением ZrO_xN_y [11], для которого положение максимума дифракционного пика находится около угла 30° . Это подтверждается исследованиями химического состава покрытий (рисунок 3), которые показывают наличие кислорода в покрытии (около 3 ат. %). Полученные результаты говорят о формировании тонкопленочного соединения со сложной фазовой структурой.

Фазовый состав покрытия $AlCrCN$, исследуемого в скользящем пучке рентгеновского излучения, показал присутствие соединения CrN (пики при $37,2^\circ$, $63,5^\circ$ и $77,1^\circ$) с различной ориентацией кристаллической решетки фазы и с типом кристаллической решетки B1 (структура NaCl) [12], соединения Cr_2N ($40,5^\circ$), а также соединения AlN ($33,5^\circ$ и $65,0^\circ$). Аналогичные результаты были получены в работах [12, 13].

Для образцов покрытий 3–5 на дифрактограммах присутствуют пики, ассоциированные с карбонитридом циркония, по аналогии с образцом 1. Исключением является образец 4, для которого при углах 50° и 60° присутствуют пики, относящиеся к гексагональной фазе нитрида алюминия типа вюрцита [12]. Отсутствие пиков от нитридов хрома и алюминия на образцах 3–5, вероятно, связано с частичным совпадением положения этих пиков с пиками, относящимися к карбонитриду циркония, уровень сигнала от которых превышает таковой от пиков AlN и CrN . Косвенно это подтверждается нарушением симметрии пиков, например при $2\theta = 39^\circ \dots 40^\circ$ для образцов 3–5.

Исследования коррозионной стойкости показали, что для стали 40X, содержащей хром (~ 1 %), никель 0,3 % и относящейся к коррозионностойким сталям, тем не менее наблюдается значительный ток коррозии порядка $I_k = 1,79 \times 10^{-5}$ А, при этом потенциал коррозии составляет $E_k = -645$ мВ (рисунок 5).

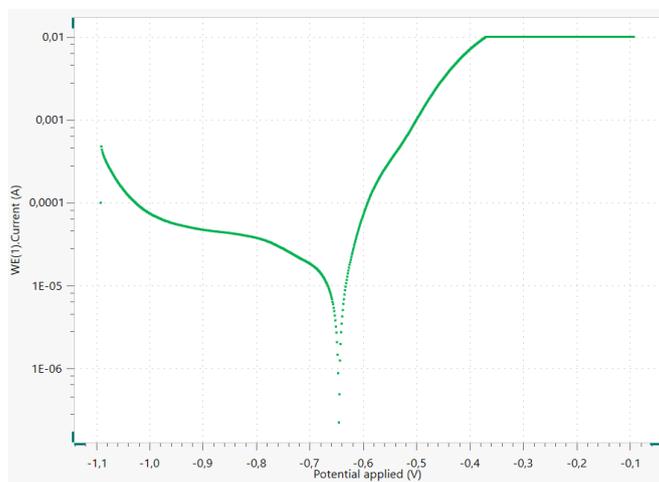


Рисунок 5 – Поляризационная кривая для стали 40X

Нанесение покрытий существенным образом изменяет электрохимические свойства поверхности стали 40X. На рисунке 6 представлена характерная поляризационная кривая для стали 40X с двухслойным покрытием ZrN/ZrCN. Можно видеть, что она расположена ниже соответствующей кривой для стали без покрытия, что означает более высокую коррозионную стойкость карбонитрида циркония по сравнению с нержавеющей сталью.

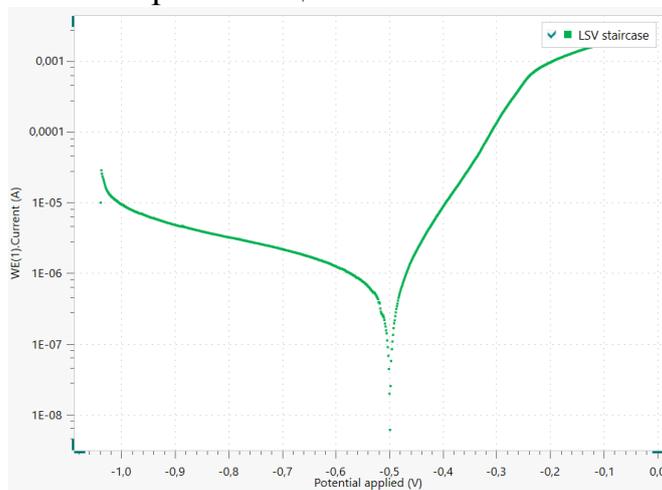


Рисунок 6 – Поляризационная кривая для образца с покрытием ZrN/ZrCN

Обработка поляризационных кривых по обычной процедуре путем экстраполяции Тафеля позволяет рассчитать значения потенциала коррозии E_c и тока коррозии I_c [14] для различных условий получения многослойных покрытий, которые приведены в таблице 1. Данные по этим параметрам, а также по стационарному потенциалу E_{cm} , сведены в таблицу 2.

Можно видеть, что использование покрытий, содержащих хром и алюминий типа AlCrN и верхнего слоя из ZrN/ZrCN (покрытие 3), а также AlCrN/AlCrCN и верхнего слоя из ZrN/ZrCN (покрытие 4), приводит к скачкообразному уменьшению тока коррозии со значения 651 нА для покрытия ZrN/ZrCN (покрытие 1) до 89,5 нА и 42,4 нА, соответственно. Использование сочетания нитридов и карбонитридов в обоих слоях обеспечивает наиболее эффективную защиту основы от коррозии. Покрытия, содержание помимо нитридного слоя также карбонитридный, обладают менее развитой столбчатой структурой и предотвращают проникновение вызывающего коррозию солевого раствора к защищаемой основе. В результате покрытие AlCrN/AlCrCN/ZrN/ZrCN повышает коррозионную стойкость стали 40X более чем в 420 раз и является наиболее эффективным из всех исследуемых покрытий. Анализ оптических изображений покрытий показал, что аномально низкая коррозионная стойкость покрытия 6 связана с его растрескиванием и локальными микроотслоениями.

Таблица 2 – Электрохимические характеристики стали 40X с покрытиями

Образец	Электрохимические характеристики		
	$E_{ст}, мВ$	$E_{к}, мВ$	$I_{к}, 10^{-9} А$
1	-539	-498	651
2	-524	-477	512
3	-442	-334	42,4
4	-477	-448	89,5
5	-493	-467	504
6	-612	-588	31400
Основа	-592	-645	17900

Заключение

Выполнено осаждение покрытий AlCr(C)N/Zr(C)N на образцы стали 40X для выявления оптимальной слоистой структуры композиционного покрытия. С использованием методик сканирующей электронной микроскопии подтверждена многослойность сформированных покрытий, также установлено наличие широких переходных зон по элементному составу в области границы раздела основа – покрытие, что, скорее всего, связано с высокой скоростью взаимодиффузии компонент покрытия. Показано, что отношение концентраций алюминия и хрома в покрытиях AlCr(C)N ниже чем в катоде (2,33) и находится в диапазоне от 1,7:1 до 2,3 в покрытии.

Исследования с использованием методов рентгеновской дифрактометрии осажденных покрытий на основе нитридов и карбонитридов циркония и алюминия/хрома позволили определить тип структуры бинарных покрытий ZrN и тройных покрытий AlCrN как B1. Введение в их состав углерода происходит путем формирования твердых растворов замещения в подрешетке неметаллов без изменения кристаллической структуры. Растворенный углерод, деформируя кристаллическую решетку нитридов циркония или хром-алюминия, затрудняет движение дислокаций под нагрузкой и обеспечивает упрочнение полученных тонкопленочных материалов.

Проведенный анализ коррозионной стойкости полученных многослойных покрытий выявил, что покрытия с использованием компоновки в виде нижнего слоя из AlCrN/AlCrCN и верхнего слоя из ZrN/ZrCN обладают коррозионной стойкостью выше более чем в 7 раз относительно других вариантов многослойных покрытий и на два порядка больше чем сталь 40X.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ по договору T23ИНДГ-008 и департамента науки и технологий (DST) Министерства образования и науки Республики Индия (проект DST P-40/2023).

Список цитированных источников

1. Рылякин, Е. Г. Обеспечение работоспособности гидропривода мобильных машин при низких температурах: моногр. / Е. Г. Рылякин, Ю. А. Захаров. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 124 с.
2. Papatheodorou, T. Influence of hard-chrome plated rod surface treatments on the sealing behavior of hydraulic rod seals / T. Papatheodorou // *Sealing Technol.* – 2005. – No. 4. – P. 21–27.
3. Picas, J. A. Tribological evaluation of HVOF thermal-spray coatings as a hard chrome replacement / J. A. Picas, M. Punset, M. T. Baile [at al.] // *Surf. Interface Anal.* – 2011. – Vol. 43. – P. 1346–1353.
4. Srivastava, M. Ni–Mo–Co ternary alloy as a replacement for hard chrome / M. Srivastava, C. Anandan, V. W. Grips // *Applied Surface Science.* – 2013/ – Vol. 15 (285). – P. 167–174.
5. Veprek, S. Industrial application of superhard nanocomposite coatings / S. Veprek, M. J. G. Veprek-Heijman // *Surface and Coating Technology.* – 2008. – Vol. 202. – P.5063–5073.
6. Chen, C. S. Diffusion barrier properties of amorphous ZrCN films for copper metallization. / C. S. Chen, C. P. Liu // *Journal of Non-Crystalline Solids.* – 2005. – Vol. 351. – P. 3725–3729.
7. Long, Y. Microstructure of TiAlN and CrAlN coatings and cutting performance of coated silicon nitride inserts in cast iron turning. / Y. Long, J. Zeng, D. Yu, S. Wu // *Ceramics International.* – 2014. – Vol. 40. – P.9889–9894.
8. Frank, F. Microstructure and Mechanical Properties of ZrN, ZrCN and ZrC Coatings Grown by Chemical Vapor Deposition / F. Frank, M. Tkadletz, Ch. Czettel, N. Schalk // *Coatings.* – 2021. – Vol. 11. – P. 491–498.
9. Ashok, K. Effect of substrate temperature on structural and materials properties of zirconium nitride films on D9 steel substrates / K. Ashok // *Crystal Research Technology.* – 2009. – Vol. 44. – P.511–516.

10. Abadias, G. Stress and preferred orientation in nitride-based PVD coatings / G. Abadias // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P.2223–2235.
11. Cubillosa, G. I. Corrosion resistance of zirconium oxynitride coatings deposited via DC unbalanced magnetron sputtering and spray pyrolysis-nitriding / G. I. Cubillosa, M. Bethencourt, J. J. Olaya // *Applied Surface Science*. – 2015. – Vol. 327. – P. 288–295.
12. Gilewicz, A. Influence of Substrate Bias Voltage on Structure, Morphology and Mechanical Properties of AlCrN Coatings Synthesized Using Cathodic Arc Evaporation / A. Gilewicz, R. Jedrzejewski, P. Myslinski, B. Warcholinski // *Tribology in Industry*. – 2019. – Vol. 41. – P. 484–497.
13. Kuznetsova, T. Effect of metallic or non-metallic element addition on surface topography and mechanical properties of CrN coatings / T. Kuznetsova, V. Lapitskaya, A. Khabarava [at al.] // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10. – P. 2361–2376.
14. Manfild, F. Tafel slopes and corrosion rates from polarization resistance measurements / F. Manfild // *Corrosion*. – 1973. – Vol. 29. – P. 397–402.

References

1. Ryljakin, E.G. Obespechenie rabotosposobnosti gidroprivoda mobil'nyh mashin pri nizkih temperaturah: monogr. / E.G. Ryljakin, Ju.A. Zaharov. – Penza: PGUAS, 2014. – 124s.
2. T. Papatheodorou. Influence of hard-chrome plated rod surface treatments on the sealing behavior of hydraulic rod seals / *Sealing Technol.* -2005. - No. 4. – P. 21–27.
3. J.A. Picas, M. Punset, M.T. Baile, E. Martín, A. Forn. Tribological evaluation of HVOF thermal-spray coatings as a hard chrome replacement // *Surf. Interface Anal.* - 2011. Vol. 43. – P. 1346–1353.
4. M. Srivastava, C. Anandan, V.W. Grips. Ni–Mo–Co ternary alloy as a replacement for hard chrome // *Applied Surface Science*. – 2013 - Vol. 15 (285). - P. 167-174.
5. Veprek S., Veprek-Heijman M.J.G. Industrial application of superhard nanocomposite coatings // *Surface and Coating Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P.5063-5073.
6. Chen C.S., Liu C.P. Diffusion barrier properties of amorphous ZrCN films for copper metallization. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2005. – Vol. 351. – P.3725–3729.
7. Long Y., Zeng J., Yu D., Wu S. Microstructure of TiAlN and CrAlN coatings and cutting performance of coated silicon nitride inserts in cast iron turning. // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40. – P.9889-9894.
8. F. Frank, M. Tkadletz, Ch. Czettl, N. Schalk. Microstructure and Mechanical Properties of ZrN, ZrCN and ZrC Coatings Grown by Chemical Vapor Deposition // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11. – P. 491 –498.
9. K. Ashok. Effect of substrate temperature on structural and materials properties of zirconium nitride films on D9 steel substrates // *Crystal Research Technology*. – 2009. – Vol. 44. – P.511 – 516.
10. G. Abadias. Stress and preferred orientation in nitride-based PVD coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P.2223 – 2235.
11. G.I. Cubillosa, M. Bethencourt, J.J. Olaya. Corrosion resistance of zirconium oxynitride coatings deposited via DC unbalanced magnetron sputtering and spray pyrolysis-nitriding // *Applied Surface Science*. – 2015. – Vol. 327. – P. 288 – 295.
12. A. Gilewicz, R. Jedrzejewski, P. Myslinski, B. Warcholinski Influence of Substrate Bias Voltage on Structure, Morphology and Mechanical Properties of AlCrN Coatings Synthesized Using Cathodic Arc Evaporation // *Tribology in Industry*. – 2019. Vol. 41. – P. 484 – 497.
13. T. Kuznetsova, V. Lapitskaya, A. Khabarava, S. Chizhik, B. Warcholinski, A. Gilewicz, A. Kuprin, S. Aizikovich, B. Mitrin. Effect of metallic or non-metallic element addition on surface topography and mechanical properties of CrN coatings // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10. – P. 2361 –2376.
14. F. Manfild. Tafel slopes and corrosion rates from polarization resistance measurements // *Corrosion*. – 1973. – Vol. 29. – P. 397–402.

ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 40X13 ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ И ЛЕГИРОВАНИЯ

А. И. Веремейчик, к. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: vai_mrtm@bstu.by

М. В. Нерода, к. т. н., доцент, проректор по учебной работе, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: nerodaMV@mail.ru

Б. Г. Холодарь, к. т. н., доцент, старший научный сотрудник НИЧ, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: hbg@list.ru

М. В. Хеук, м. т. н., ассистент кафедры теоретической и прикладной механики, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: kheuk@mail.ru

Реферат

Проведено исследование на изгиб образцов прямоугольного сечения из коррозионностойкой стали 40X13 после лазерной закалки и лазерного легирования. Установлено, что наличие зоны лазерного воздействия приводит к повышению области упругой работы образцов в пределах 20-30 процентов в соответствии с реализованным режимом обработки материала и еще более значительному увеличению уровня воспринимаемой максимальной нагрузки.

Ключевые слова: лазерная закалка, лазерное легирование, изгиб, испытания, режимы обработки, большие деформации.

BENDING TESTS OF 40X13 STEEL SAMPLES AFTER LASER QUENCHING AND ALLOYING

A. I. Verameichyk, M. V. Neroda, B. G. Kholodar, M. V. Kheuk

Abstract

A study was conducted on the bending of rectangular cross-section samples made of corrosion-resistant 40X13 steel after laser quenching and laser alloying. It has been established that the presence of a laser exposure zone leads to an increase in the area of elastic operation of the samples in the range of 20-30 percent in accordance with the implemented material processing mode and an even more significant increase in the level of perceived maximum load.

Keywords: laser hardening, laser alloying, bending, testing, processing modes, large deformations.

Введение

Лазерные технологии поверхностной обработки (закалка, легирование, наплавка и др.) в ряде случаев заменяют традиционные методы термической обработки. Это обусловлено преимуществами сфокусированного лазерного излучения: бесконтактностью и локальностью теплового воздействия, минимальной зоной термического влияния, высокими скоростями нагрева и охлаждения, снижением уровня остаточных напряжений, сведением к минимуму коробления,

повышением дисперсности структуры [1]. Лазерная закалка может рассматриваться как альтернатива поверхностному упрочнению цементацией и последующей объемной закалке, а также ионно-плазменному азотированию.

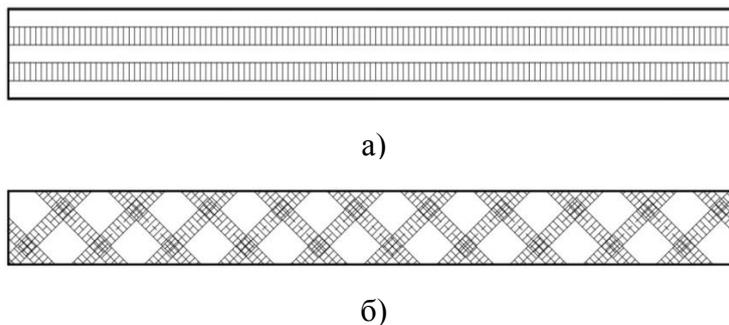
Актуальность проблем, связанных с влиянием режимов лазерной обработки на структуру и свойства различных материалов, подтверждается многочисленными публикациями отечественных и зарубежных ученых [2–11]. Статья посвящена описанию поведения образцов из стали 40X13 после лазерной закалки и легирования при испытаниях на изгиб.

Методика проведения исследований. В течение I и II кварталов 2024 года была проведена работа по проведению и анализу испытаний образцов из коррозионностойкой стали 40X13. Предварительно образцы были подвергнуты обработке высокоэнергетической струей лазера (рисунок 1) в лаборатории плазменных и лазерных технологий БНТУ, в процессе которой производилась их закалка или легирование бором на различных скоростных режимах. В лабораториях БрГТУ контрольная часть образцов была испытана на растяжение и изгиб. Испытаниям на растяжение и изгиб были подвергнуты также аналогичные образцы, не проходившие лазерную обработку.



Рисунок 1 – Волоконный иттербиевый лазер непрерывного действия ЛК-1000 фирмы IPG (тип YLR-1)

Все образцы – плоские, длиной 200 мм, шириной 20 и 25 мм, толщиной 7 и 4 мм. Лазерное воздействие осуществлялось вдоль дорожек шириной 4 мм с одной или с двух сторон образца, число дорожек варьировалось. Дорожки в виде сетки наносились с двух сторон образцов вначале в одном направлении под углом 45 градусов к оси образца, а затем крестообразно в противоположном. Между дорожками образовались необработанные квадратные окна со стороной 10 мм. Схема и порядок нанесения дорожек приведены на рисунках 2, 3.



а) дорожки вдоль образца; б) сетка
Рисунок 2 – Схемы нанесения дорожек

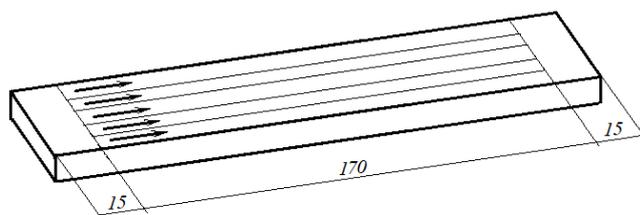


Рисунок 3 – Схема движения лазерного пятна сканирования по поверхности образца

В таблице 1 представлена программа испытаний образцов.

Таблица 1 – Виды и режимы обработки образцов из стали 40Х13

Серия	Вид обработки	Обработка, количество дорожек	Количество образцов, шт	Размер образца, мм
НО	Без обработки	-	3	7×20×200
7	Закалка	С одной стороны, 2 дорожки	3	
НОТ	Без обработки	-	3	4×25×200
8	Борирование	С двух сторон, 6 дорожек	3	
9		С двух сторон, 3 дорожки	3	
10		С двух сторон, сетка	3	
11	Закалка	С двух сторон, 6 дорожек	3	
12		С двух сторон, 3 дорожки	3	
13		С двух сторон, сетка	3	
14		С одной стороны, 3 дорожки	3	



Рисунок 4 – Поверхность образцов 11.3, 13.1 (закалка) и 8.1, 10.3 (борирование) после лазерной обработки

После обработки образцы имели начальную погибь до 0,5 мм.

На рисунках 5, 6 приведена схема испытаний и фотография установки образца на испытательной машине Kason WDW-50 (Китай).

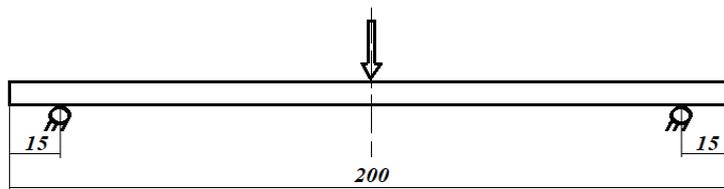


Рисунок 5 – Схема испытаний



Рисунок 6 – Установка образца на испытательной машине Kason WDW-50

На рисунке 7 показано деформирование образца в процессе нагружения.

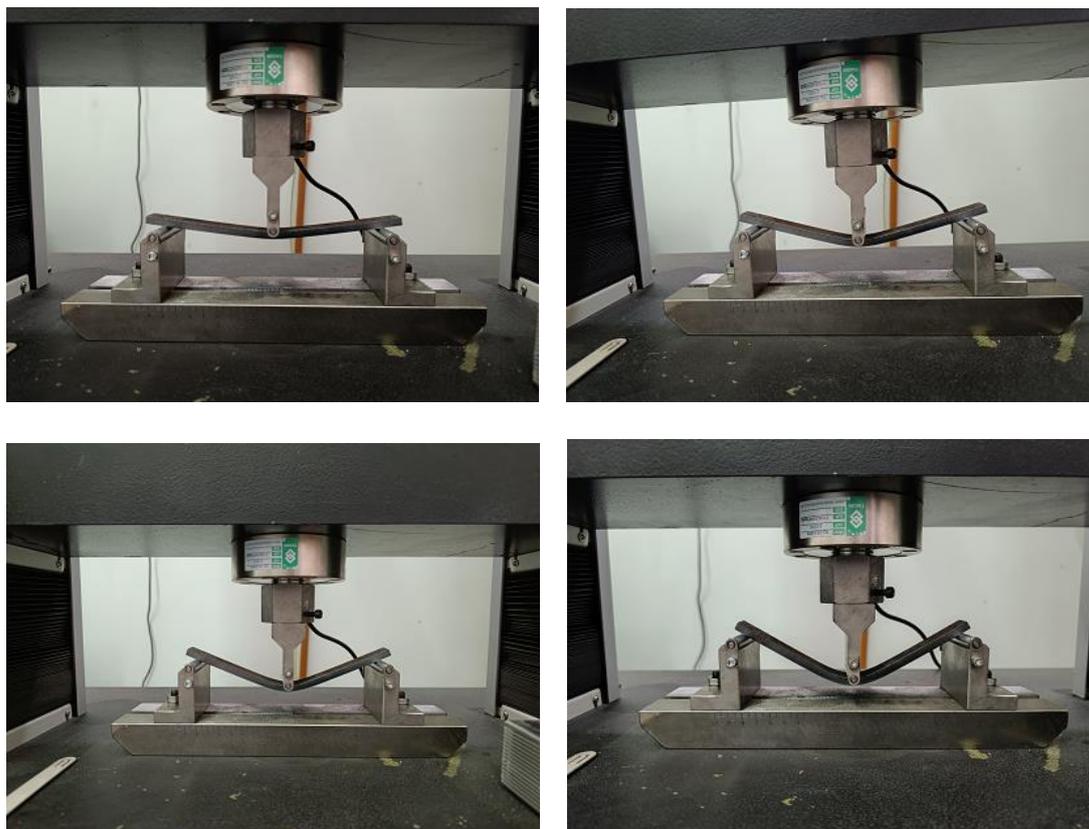


Рисунок 7 – Деформирование образца в процессе нагружения

По принятой методике проведены испытания обработанных и необработанных образцов. Диаграммы нагружения образцов толщиной 4 мм приведены на рисунках 8, 9.

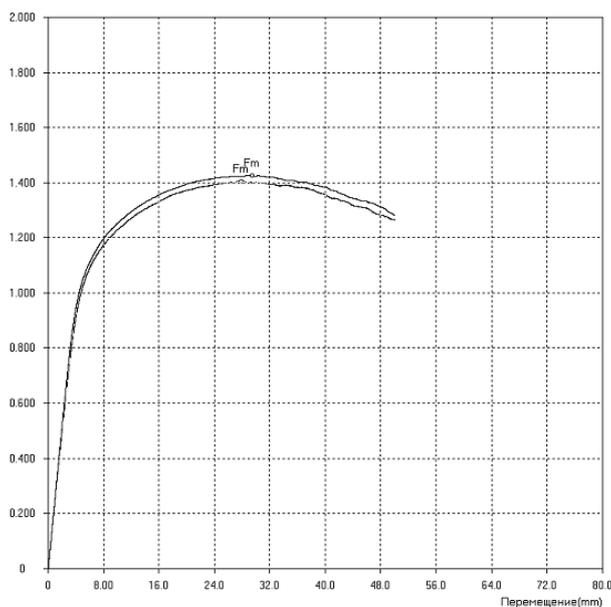
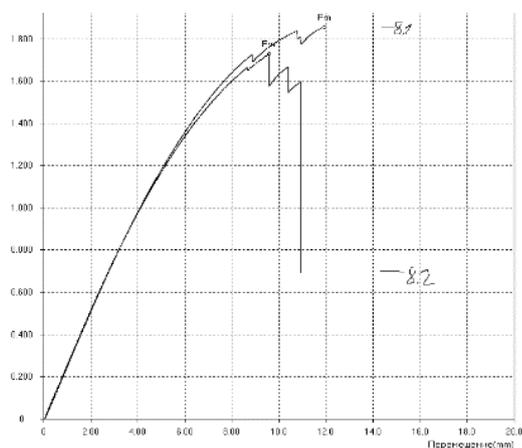
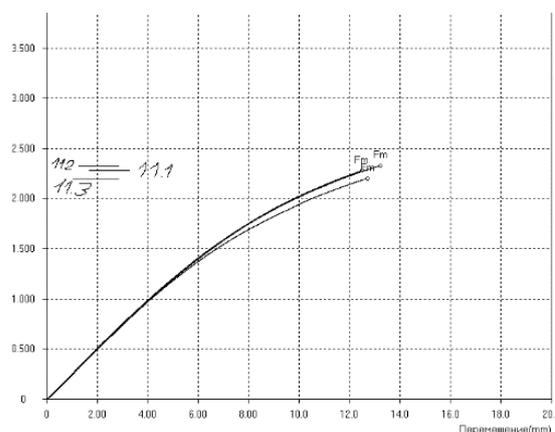


Рисунок 8 – Диаграммы нагружения при изгибе необработанных образцов толщиной 4 мм



Серия 8 (борирование)



Серия 11 (закалка)

Рисунок 9 – Диаграммы нагружения при изгибе обработанных образцов толщиной 4 мм

Все образцы разрушились по сечению, перпендикулярному оси образца. На легированных образцах трещины практически прямолинейные, на закаленных имеет место ступенчатость траектории, вызванная ее поворотом в местах переходов к необработанным участкам окон. На поверхности разрушения структура материала однородна, некоторый ручьистый узор наблюдается только у легированных образцов в зоне сжатия, губки сдвига отсутствуют.

Список цитированных источников

1. Ярьско, С. И. Анализ стойкости и изнашивания твердосплавного инструмента после лазерной термообработки / С. И. Ярьско // Известия Самарского науч. центра Российской акад. наук. – 2001. Т. 3, № 1. – С. 27–37.
2. Бирюков, В. П. Определение параметров зон лазерной закалки сталей и их трибологических характеристик / В. П. Бирюков [и др.] // Фотоника. 2019. – № 13(3). – С. 242–250.
3. Девойно, О. Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями / О. Г. Девойно, И. В. Швец // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / Белорусский нац. техн. ун-т ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.

4. Aborkin, A. V. Effect of Laser Hardening on Die Steel Microhardness and Surface Quality / A. V. Aborkin, V. E. Vaganov, A. N. Shlegel, I. M. Bukarev. // *Metallurgist*. – 2015. – Vol. 59, Is. 7–8. – P. 619–625.
5. Zhang, L. Effect of laser surface hardening on the microstructure, hardness, wear resistance and softening of a low carbon steel / L. Zhang, H. Yan, P. Q. Hu [at al.] // *Lasers in Engineering*. – 2014. – Vol. 28. – P. 135–149.
6. Šebek, M. The Effects of Laser Surface Hardening on Microstructural Characteristics and Wear Resistance of AISI H11 Hot Work Tool Steel / M. Šebek, L. Falat, F. Kováč [at al.] // *Archives of Metallurgy & Materials*. – 2017. – Vol. 62. – P.757–762.
7. A. Nath and S. Sarkar, Laser Transformation Hardening of Steel, in *Advances in Laser Materials Processing (Second Edition)*, pp. 257–298, 2018.
8. Мищирук, О. М. Влияние режимов лазерной закалки на свойства стали 40X13 / О. М. Мищирук [и др.] // *Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. фіз.-тэхн. навук*. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 103–112.
9. Kapustynskiy, O. Laser Treatment for Strengthening of Thin Sheet Steel / O. Kapustynskiy, N. Višniakov // *Materials Science and Engineering*. – 2020, Art. ID 5963012. – 13 p.
10. Mishchiruk, O. M. Research into the influence of laser scanning speed on the characteristics of 10G2 steel / O. M. Mishchiruk, A. I. Verameichyk, M. V. Neroda, B. G. Holodar // *Vestnik of Brest State Technical University*. 2022. – № 3 (132). – P. 69–74.
11. Višniakov, N. Laser welding of copper-niobium microcomposite wires for pulsed power applications / N. Višniakov, G. Mikalauskas, O. Černaš`ejus, J. Š`kamat // *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. – 2019. – Vol. 50, № 5. – P. 646–662.
12. Kapustynskiy, O. Optimization of the parameters of local laser treatment for the creation of reinforcing ribs in thin metal sheets / O. Kapustynskiy, N. Višniakov, O. Černaš`ejus [at al.] : *Proceedings of 24th International Conference «Mechanika-2019»*, May 2019, Kaunas, Lithuania.

References

1. Ярецько, С. И. Анализ стойкости и изнашивания твердосплавного инструмента после лазерной термообработки / С. И. Ярецько // *Известия Самарского науч. центра Российской акад. наук*. – 2001. Т. 3, № 1. – С. 27–37.
2. Бирюков, В. П. Определение параметров зон лазерной закалки сталей и их трибологических характеристик / В. П. Бирюков [и др.] // *Фотоника*. 2019. – № 13(3). – С. 242–250.
3. Девойно, О. Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями / О. Г. Девойно, И. В. Швец // *Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / Белорусский нац. техн. ун-т ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.)*. – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.
4. Aborkin, A. V. Effect of Laser Hardening on Die Steel Microhardness and Surface Quality / A. V. Aborkin, V. E. Vaganov, A. N. Shlegel, I. M. Bukarev. // *Metallurgist*. – 2015. – Vol. 59, Is. 7–8. – P. 619–625.
5. Zhang, L. Effect of laser surface hardening on the microstructure, hardness, wear resistance and softening of a low carbon steel / L. Zhang, H. Yan, P. Q. Hu [at al.] // *Lasers in Engineering*. – 2014. – Vol. 28. – P. 135–149.
6. Šebek, M. The Effects of Laser Surface Hardening on Microstructural Characteristics and Wear Resistance of AISI H11 Hot Work Tool Steel / M. Šebek, L. Falat, F. Kováč [at al.] // *Archives of Metallurgy & Materials*. – 2017. – Vol. 62. – P.757–762.
7. A. Nath and S. Sarkar, Laser Transformation Hardening of Steel, in *Advances in Laser Materials Processing (Second Edition)*, pp. 257–298, 2018.
8. Мищирук, О. М. Влияние режимов лазерной закалки на свойства стали 40X13 / О. М. Мищирук [и др.] // *Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. фіз.-тэхн. навук*. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 103–112.
9. Kapustynskiy, O. Laser Treatment for Strengthening of Thin Sheet Steel / O. Kapustynskiy, N. Višniakov // *Materials Science and Engineering*. – 2020, Art. ID 5963012. – 13 p.
10. Mishchiruk, O. M. Research into the influence of laser scanning speed on the characteristics of 10G2 steel / O. M. Mishchiruk, A. I. Verameichyk, M. V. Neroda, B. G. Holodar // *Vestnik of Brest State Technical University*. 2022. – № 3 (132). – P. 69–74.

11. Vis̆niakov, N. Laser welding of copper-niobium microcomposite wires for pulsed power applications / N. Vis̆niakov, G. Mikalauskas, O. C̆erna'se'jus, J. S̆kamat // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. – 2019. – Vol. 50, № 5. – P. 646–662.

12. Kapustynskiy, O. Optimization of the parameters of local laser treatment for the creation of reinforcing ribs in thin metal sheets / O. Kapustynskiy, N. Vĭsniakov, O. C̆erna's'ejus [at al.] : Proceedings of 24th International Conference «Mechanika-2019», May 2019, Kaunas, Lithuania.

УДК 624.042.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКЕ

А. И. Веремейчик, к. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: vai_mrtm@bstu.by

Б. Г. Холодарь, к. т. н., доцент, старший научный сотрудник НИЧ, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: hbg@list.ru

Реферат

Исследована кинематика движения пятна нагрева при сканирующей лазерной закалке, теоретически определены размеры зон «пятно-промежуток» для различных скоростей движения лазерной головки. Для решения задачи теплопроводности используется метод мгновенно приложенного точечного источника (функций Грина) при соответствующем интегрировании воздействия по площади пятна нагрева. Разработан алгоритм и компьютерная программа расчета температурного поля, тепловых импульсов при сканирующей лазерной закалке сталей.

Ключевые слова: сканирующая закалка, температурное поле, лазер, пятно, луч.

SIMULATION OF THE TEMPERATURE FIELD DURING SCANNING LASER QUENCHING

Abstract

The kinematics of the heating spot movement during scanning laser hardening is investigated, the sizes of the "spot-gap" zones are theoretically determined for different speeds of the laser head movement. The method of an instantly applied point source (Green's functions) is used to solve the problem of heat conductivity with the corresponding integration of the effect over the area of the heating spot. An algorithm and a computer program for calculating the temperature field, thermal pulses during scanning laser hardening of steels are developed.

Keywords: scanning hardening, temperature field, laser, spot, beam.

Введение

Воздействие движущегося теплового потока высокой интенсивности используется для модификации свойств материала в приповерхностной зоне. Задачей воздействия является целенаправленное изменение фазового состава

материала и его микроструктуры, что в свою очередь приводит к требуемому изменению механических свойств материала. При этом основным вопросом является подбор оптимального режима теплового нагружения, который зависит, прежде всего, от уровня и скорости нагрева и следующего за ним охлаждения тела. В связи с этим расчеты температурных полей в соответствующих зонах материала имеют первостепенное значение [1].

Разработан алгоритм расчета и создана компьютерная программа для исследования тепловых процессов при лазерной закалке сталей движущимся источником нагрева со сканирующей системой, т. е. когда одновременно с движением ядра потока вдоль прямолинейной дорожки оно периодическим образом перемещается в поперечном направлении, двигаясь по траектории, которая представляет собой совокупность выходящих одна из другой последовательных поперечных линий, причем по условиям работы установки в точках этих линий интенсивность энергетического воздействия и скорость движения пятна может изменяться.

Некоторые результаты

Для лазерной обработки образцов применялся волоконный лазер непрерывного действия с максимальной мощностью 1 кВт. Технологический комплекс для лазерной закалки оборудован сканирующей системой, которая обеспечивает многократное перемещение пятна обработки по обрабатываемой поверхности с высокой частотой в направлении перпендикулярном направлению обработки [2]. Многократное перемещение лазерного пятна с высокой частотой обеспечивается применением системы двух дефлекторов (рисунок 1), которые согласованно совершают колебания во взаимно перпендикулярных направлениях.

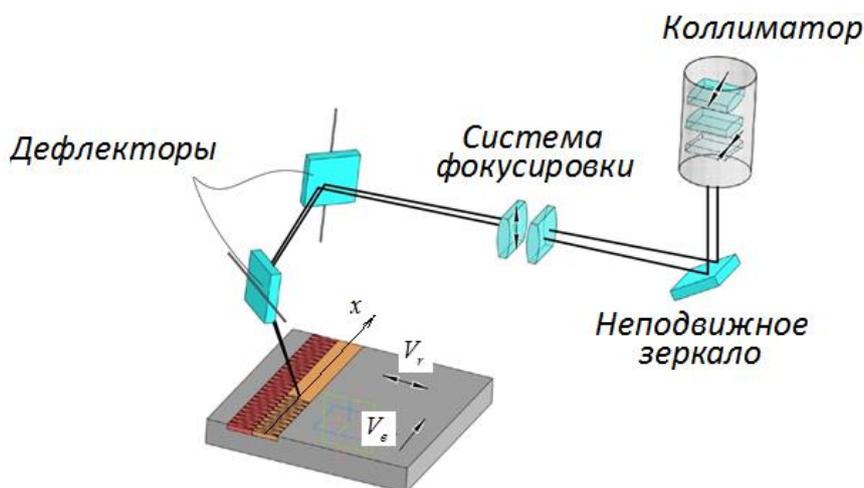


Рисунок 1 – Схема сканирующей системы

Разработанная программа учитывает, что при поверхностной обработке излучением волоконного лазера со сканирующей лазерный луч головкой производится отключение лазерного излучения после прохождения нескольких поперечных линий, т. е. обрабатываемая дорожка представляет собой последовательность зон, состоящих из участков непосредственного нагружения (пятно воздействия) и “ненагруженных” промежутков. Такой способ при малом радиусе кругового ядра лазера дает возможность создавать в материале тепловое

поле определенной интенсивности при заданной номинальной мощности установки, что учтено при разработке программы.

В качестве исходных кинематических данных для расчетов принимались скорость движения лазерной головки вдоль дорожки, длина и ширина дорожки, число поперечных линий на пятне сканирования и частота повторений прохождения двух взаимосвязанных линий. По этим данным определен период времени, соответствующий возврату оси луча в точку с фиксированной поперечной координатой. Задаваемое на установке для лазерной закалки число линий N_{lin} может быть нечетным или четным (во время испытаний число линий соответствовало значениям 7 и 10), поэтому на пятне сканирования уместается целое или полуцелое число периодов поперечного движения луча, равное $N_{lin}/2$. В связи с тем, что оплавление поверхности обрабатываемого материала происходит в круге определенного радиуса, а не только в точках попадания оси луча лазера, при небольших скоростях движения головки лазера происходит непрерывное слияние зон обработки «пятно + промежуток», поэтому уточнение ситуации может быть проведено только при достаточно больших скоростях движения лазерной головки, когда пятна и промежутки между ними явным образом выделяются. Это дает возможность определить продольную составляющую скорости сканирования, которая является одинаковой для любых скоростей движения лазерной головки при одном и том же числе линий на пятне и частоте их прохождения.

При составлении программы вычислений температурных полей предполагается, что наличие постоянной продольной и периодической поперечной скоростей сканирования позволяет считать ось луча при сканировании движущейся вдоль дорожки по некоторой зигзагообразной линии.

С точки зрения кинематики движение оси луча можно представить, как сумму продольного переносного (вдоль оси x) и относительного продольного и поперечного движений, причем скорость переносного движения совпадает со скоростью лазерной головки (рисунок 1).

Для определения продольной относительной скорости были проведены эксперименты по нагружению плоского стального образца размерами $200 \times 20 \times 7$ мм со скоростью перемещения головки, равной $V_e = 20000$ мм/мин. На рисунке 2 показан след от воздействия на некотором участке дорожки.

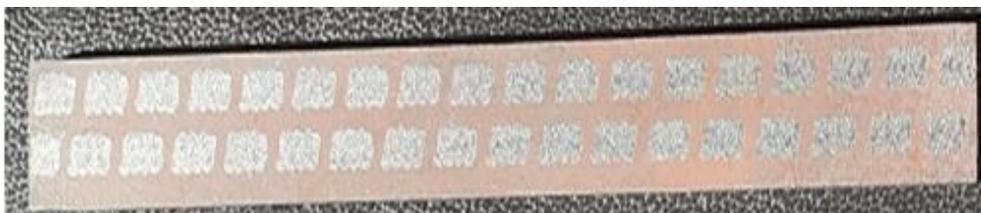


Рисунок 2 – Обработанный образец

Несмотря на то, что к концу дорожки след становится более оплавленным за счет общего повышения температуры образца с течением времени воздействия, при большом числе образовавшихся зон обработки можно с достаточной точностью определить длину одной зоны L'_z , как отношение общей длины дорожки ($L_z \approx 198$ мм) к числу этих зон ($N = 18$).

Известно, что центр пятна должен вернуться после прохода пятна в точку с координатой $y = 0$, то при числе линий на пятне $N_{lin} = 7$, соответствующему 3,5 периодам $T_{laz} = 1/f$, $f = 220$ Гц, по формуле для длины зоны

$$L'_z = (V_e + V_r) \frac{N_{lin}}{2} T_{laz} + (V_e - V_r) k T_{laz}, \quad (1)$$

подбираем число k , которое должно быть полуцелым.

Принимаем из опыта при скорости $V_e = 20000$ мм/мин = $100/3$ см/с длину зоны в пределах $L'_z = 1,04 \dots 1,1$ см. Находим, что в выбранном интервале такое число k существует. На рисунке 3 приведена зависимость числа k от длины зоны «пятно + промежуток» L'_z .

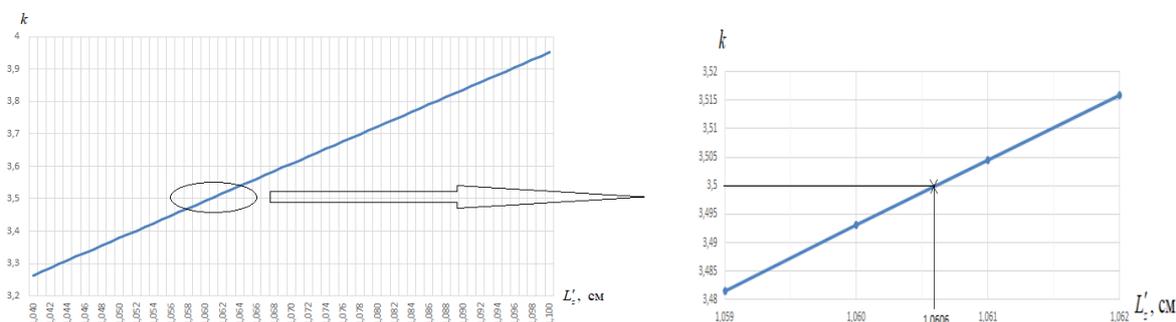


Рисунок 3 – Зависимость числа k от длины зоны «пятно + промежуток» L'_z при $V_e = 20000$ мм/мин

По результатам расчета находим: $k = 3,5 = 7/2 = N_{lin} / 2$. При расчетах принято

$$V_{rx} = \frac{2LongX \cdot f}{N_{lin}}, \quad V_{ry} = 2LongY \cdot f, \quad (2)$$

где $LongX = 2,25$ мм, $LongY = 4$ мм – продольный и поперечный размеры пятна сканирования, м.

По результатам расчета получено $V_{ry} = 176$ см/с, $V_{rx} = 14.14$ см/с.

Абсолютная скорость при движении по пятну при $V_e = 20000$ мм/мин

$$V_{ap} = V_e + V_{rx} = 47.48 \text{ см/с.}$$

Абсолютная скорость возвратного движения по промежутку между пятнами

$$V_{av} = V_e - V_{rx} = 19.19 \text{ см/с.}$$

Таким образом, найденное значение V_r можно принять как достаточно обоснованное и использовать его для режимов с другими значениями скорости переносного движения.

Для различных скоростей переносного движения определено число N_z зон на образце длиной 198 мм в зависимости от длины пятна воздействия L_p и длины возвратного движения L_v , длина зоны «пятно + промежуток» L'_z . Некоторые результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета количества зон

№ п/п	V_e , мм/мин	L_p , см	L_v , см	L'_z , см	N_z
1	300	0,23295	-0,21705	0,01591	1244,6
2	400	0,23561	-0,21439	0,02121	933,4
3	600	0,24091	-0,20909	0,03182	746,7
4	1000	0,25152	-0,19848	0,05300	373,4
5	2000	0,27803	-0,17197	0,10606	186,7
6	5000	0,35758	-0,0924	0,26515	74,7
7	8000	0,4371	-0,01288	0,4242	46,7
8	9000	0,4636	0,01364	0,4773	41,5
9	10000	0,4902	0,04015	0,5303	37,3
10	20000	0,7553	0,3053	1,0606	18,7

Знак «←» в L_v показывает, что следующее пятно накладывается на предыдущее, При $V_e = 8484$ мм/мин пятна не накладываются друг на друга и $L_v = 0$.

На рисунке 4 приведена зависимость размеров пятна и промежутка в зависимости от скорости переносного движения. Все зависимости имеют линейный характер.

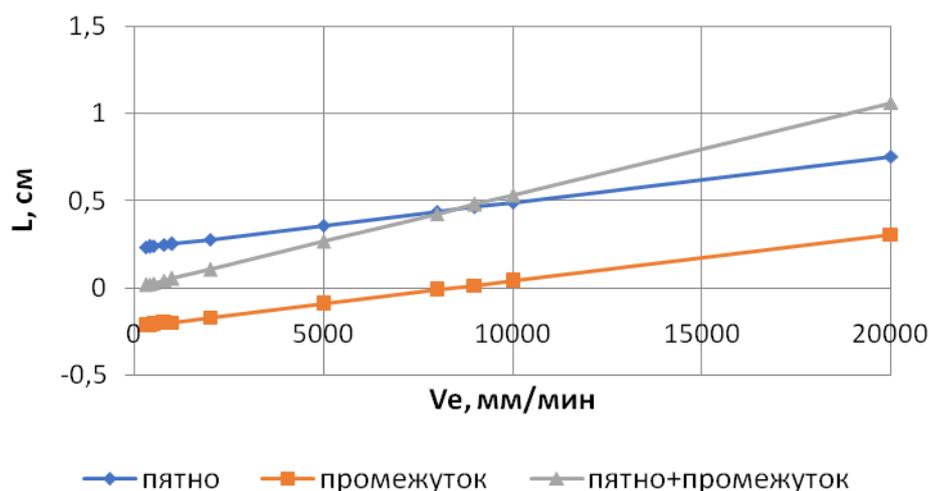


Рисунок 4 – Зависимости размеров пятна и промежутка от скорости переносного движения

Для источника нагрева, расположенного в точке $A(x, y, z)$, приращение температуры над исходным уровнем температуры тела в данной точке $A_0(x_0, y_0, z_0)$ в заданный момент времени t определяется выражением [3]

$$T(r, t) = \frac{Q}{8(\pi at)^{3/2}} \exp\left[-\frac{r^2}{4at}\right],$$

где Q – выделение тепла в точке в единицу времени, Дж; $a = \lambda/(c\rho)$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; c – удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; t – время, с; $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}$ – расстояние от источника тепла до рассматриваемой точки, м (рисунок 5).

Исходная температура принята равной нулю.

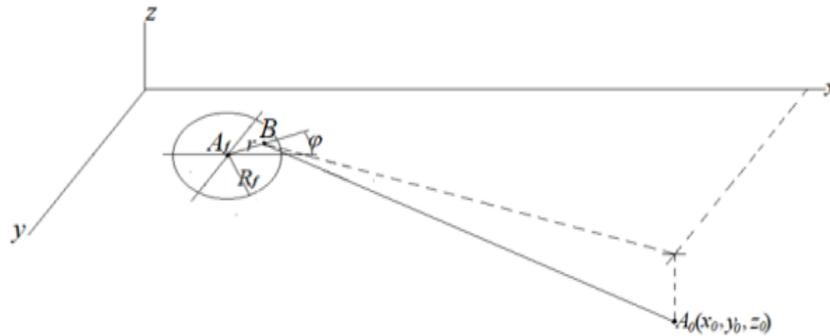


Рисунок 5 – Расстояние между точкой пятна и точкой A_0 тела

Поскольку источник излучения создает не точечный, а распределенный по некоторому закону поток, то величину Q можно представить в виде интеграла

$$\int q_0 \cdot f(a, t) da, \quad (4)$$

где q_0 – максимальная интенсивность потока, $f(a, t)$ – закон его распределения по площади a пятна нагрева в зависимости от текущего значения времени t , Функция $f(a, t)$ представима в виде произведения

$$f(a, t) = f(a) \cdot f(t). \quad (5)$$

В качестве $f(a)$ можно выбрать различные приближенные представления, в частности используются равномерный по площади или распределенный по гауссовому закону поток.

Поскольку тепловое воздействие распределено по некоторой поверхности тела, необходимо рассматривать действие совокупности точечных источников, что приводит к необходимости интегрирования выражения (1) в пределах этой поверхности

$$T_s(r, t) = \int \left\{ \int T(r, t) ds \right\} d\xi, \quad (6)$$

где ξ – переменная интегрирования по времени от начального значения $\xi_0=0$, S – переменная интегрирования по поверхности.

Распределение интенсивности воздействия по площади ядра подчинено гауссовому закону $q = q_0 \exp(-\gamma r^2)$, где r – расстояние от оси луча, γ – коэффициент сосредоточенности потока, Поскольку при этом r меняется от нуля до бесконечности, при решении задач зона ядра потока ограничивается некоторым радиусом R_f , так что выражение для q можно записать в виде $q = q_0 \exp\left(-\left(r/R_f\right)^2\right)$ [4].

Поскольку при движении луча по дорожке предполагается изменение потока во времени, то множитель q_0 следует записать в виде $q_0 \cdot F(t)$, где функция времени $F(t)$ должна описывать фактический закон изменения интенсивности потока и, таким образом, должна быть введена в подынтегральное выражение (4) при значениях $0 \leq F(t) \leq 1$. Эту функцию далее представляем в виде произведения $F(t) = Coef(t) \cdot G_f(t)$ так, чтобы функция $Coef(t)$ учитывала изменение

общей мощности источника (например, ее отключение до значения $F(t) = 0$ на участках промежутка между пятнами), а $G_f(t)$ – изменение мощности при нахождении оси луча вблизи продольных краев дорожки. Необходимость введения функции $G_f(t)$ связана с тем, что возле краев дорожки относительная скорость поперечного движения луча принимает значения, близкие к нулю и равные ему, что в реальных условиях работы установки вызывает возможность значительного перегрева материала.

Если рассматривать вопрос об определении температуры для точек, находящихся на достаточном удалении от оси луча источника, то внутренний интеграл в (6) можно определить, относя при этом все энергетическое воздействие к оси луча, и для определения расстояния между источником и рассматриваемой точкой использовать приведенное выше в (3) определение этого расстояния. Однако учитывая наличие достаточно большой зоны оплавления вдоль линий пятна воздействия на поверхности образца, более правильным будет воспользоваться расчетной схемой, приведенной на рисунке 5, которая учитывает, что каждая точка ядра потока имеет не только свой уровень интенсивности воздействия, но и свое расстояние до рассматриваемой точки A_0 с координатами x_0, y_0, z_0 .

При этом подынтегральное выражение в (6) включает в себя экспоненциальную переменную составляющую Ψ с аргументом, зависящим от времени, координат выделенной точки A_0 и окружающих ее точек, которые могут быть взяты дополнительно в прилегающем к ней объеме материала, текущих координат точки A_f оси луча и положения точки B внутри ядра потока (переменные r и φ на рисунке 5):

$$\psi = \exp \left[- \left(\frac{r^2 \left(1 + \frac{4a \cdot s}{R_f^2} \right) + \left((x_k - x_f)^2 + (y_k - y_f)^2 + z_k^2 - 2r(x_{0f} \cos \varphi + y_{0f} \sin \varphi) \right)}{4a \cdot s} \right) \right], \quad (7)$$

где $s = t_k - t_f$; $x_{0f} = x_0 - x_f$; $y_{0f} = y_0 - y_f$; x_k, y_k, z_k – координаты точки, выделенной внутри объема вокруг точки A_0 , м.

В формуле (7) подстрочным индексом « f » отмечено значение координат оси луча на поверхности образца в текущий момент времени t_f . Само интегрирование по времени t_f должно производиться от начального момента $t_0 = 0$ до заданного конечного t_k значения $t_k \geq t_f$ и, таким образом, будет учитывать смещение оси потока вдоль дорожки и соответствующий общий разогрев тела. Окончательно вместо (6), с учетом сделанных выше определений, получаем расчетную формулу в виде

$$T = \frac{q_0}{8\rho c (\pi a)^{3/2}} \int_0^s \int_0^{R_f} \int_0^{2\pi} \frac{F \cdot \Psi}{s^{3/2}} r dr d\varphi ds, \quad (8)$$

где F и Ψ отражают временные и пространственные характеристики воздействия теплового потока. Наличие внутри подынтегрального выражения тригонометрических функций вызывает необходимость в одновременном численном

интегрировании по r и φ и в связи с этим заметно увеличивает длительность проведения вычислений. Как сам интеграл (6), так и его внутренние интегралы в программе вычисляются по методу Симпсона.

Заключение

Разработана программа для исследования тепловых процессов в зоне действия лазерного луча при сканирующей закалке. В программе предусмотрена возможность проведения вычислений уровня температуры одновременно для нескольких точек, располагающихся в прилегающем к точке A_0 объеме материала. Кроме того, программа позволяет определять тепловые импульсы, импульсы структуризации и время структуризации в выбранных точках и сечении дорожки [5], что расширяет возможность прогнозирования результатов термообработки и позволяет оценить, какая часть тепловой энергии расходуется на структурообразование материала в зоне термического влияния. Результаты расчета на каждом шаге времени выводятся в файл *Rezultat.dat*. В начальной части файла для контроля ввода исходных данных выводятся наименования и пояснения к ним для основных параметров материала, режима нагружения и организации вывода, а также их числовые значения. Изменение координат x_f , y_f точки A_f по времени выводится дополнительно также в отдельный файл *CoordXY.dat*.

Список цитированных источников

1. Веремейчик, А. И. Некоторые аспекты определения температурных полей при термоупрочнении металлоизделий / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич, Б. Г. Холодарь // Перспективные материалы и технологии / Антанович А. А. [и др.] ; под ред. В. В. Рубаника. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – Гл. 18. – С. 218–237.
2. Девойно, О. Г. Моделирование поверхностной закалки с использованием сканирующего оптоволоконного лазера / О. Г. Девойно, В. В. Жарский, А. П. Пилипчук // Весн. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2018. – Т. 63, № 4. – С. 435–443.
3. Рыкалин, Н. Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / Н. Н. Рыкалин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Веремейчик, А. И. Температурное поле в полупространстве при нагреве движущимся источником с равномерно-распределенным по прямоугольной площадке потоком / А. И. Веремейчик, Б. Г. Холодарь // Фундаментальные и прикладные задачи механики : материалы Междунар. науч. конф., Москва, 6–9 дек. 2022 г. : в 2 ч. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана ; сост.: П. М. Шкапов, А. И. Игнатов. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – Ч. 1. – С. 66–71.
5. Веремейчик, А. И. Моделирование тепловых процессов в полупространстве при нагреве движущимся источником с равномерно-распределенным тепловым потоком / А. И. Веремейчик, Б. Г. Холодарь // Весн. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2023. – Т. 68, № 4. – С. 318–330.

References

1. Veremejchik, A. I. Nekotorye aspekty opredeleniya temperaturnykh polej pri ter-mouprochnenii metalloizdelij / A. I. Veremejchik, V. M. Hvisevich, B. G. Holodar' // Perspektivnye materialy i tekhnologii / Antanovich A. A. [i dr.] ; pod red. V. V. Rubanika. – Minsk : IVC Minfina, 2023. – Gl. 18. – S. 218–237.
2. Devojno, O. G. Modelirovanie poverhnostnoj zakalki s ispol'zovaniem skaniruyushchego optovolokonnoho lazera / O. G. Devojno, V. V. Zharskij, A. P. Pilipchuk // Ves. Nac. akad. navuk Belarusi. Ser. fiz.-tekhn. Navuk. – 2018. – T. 63, № 4. – S. 435–443. <https://doi.org/10,29235/1561-8358-2018-63-4-435-443>

3. Lazernaya i elektronno-luchevaya obrabotka materialov / N. N. Rykalin [i dr.]. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 496 s.

4. Veremejchik, A. I. Temperaturnoe pole v poluprostranstve pri nagreve dvizhushchimsya istochnikom s ravnomerno-raspredelennym po pryamougol'noj ploschadke potokom / A. I. Veremejchik, B. G. Holodar' // Fundamental'nye i prikladnye zadachi mekhaniki : materialy Mezhdunar. nauch. konf., Moskva, 6–9 dek. 2022 g. : v 2 ch. / Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. N. E. Baumana ; sost.: P. M. SHkapov, A. I. Ignatov. – M. : MGTU im. N. E. Baumana, 2023. – CH. 1, – С. 66–71.

5. Veremejchik, A. I. Modelirovanie teplovyh processov v poluprostranstve pri nagreve dvizhushchimsya istochnikom s ravnomerno-raspredelennym teplovym potokom / A. I. Veremejchik, B. G. Holodar' // Ves. Nac. akad. navuk Belarusi, Ser. fiz.-tekhn. navuk. – 2023. – T. 68, № 4. – S. 318–330.

УДК 669.79

ВЫПЛАВКА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

***В. А. Калиниченко**, к. т. н., доцент, доцент кафедры машины и технология литейного производства, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: kvlad@bntu.by*

***А. А. Андрушевич**, к. т. н., доцент, доцент кафедры машины и технология металлов, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: andru49@mail.ru*

***Л. П. Долгий**, к. т. н., заведующий научно - исследовательской инновационной лабораторией литейных технологий, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail : dolgi@bntu.by*

***С. В. Марцева** Старший преподаватель кафедры экономики, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail : dolgi@bntu.by*

Реферат

В работе рассмотрены преимущества индукционной плавки в среде вакуума, обеспечивающие получение высоколегированных сплавов на основе тугоплавких компонентов, свободных от вредных примесей с заданными свойствами. Рассмотрены процессы, происходящие в сплавах при плавке, выдержке и разливке. Получаемые сплавы в первую очередь планируется использовать в качестве защитных покрытий композиционных материалов. К числу указанных сплавов относятся тугоплавкие износостойкие сплавы, например, системы Cu – Ti и высокоэнтропийные сплавы, представляющие собой композиции, содержащие от 5 до 13 элементов с примерно равными концентрациями. Представлена структура получаемого материала и распределение элементов по сечению слитка.

Ключевые слова: Индукционная плавка, футеровка, дегазация, рафинирование, композиционные материалы, сложнолегированные тугоплавкие сплавы, высокоэнтропийные сплавы.

SMELTING OF MULTICOMPONENT ALLOYS FOR SPECIAL COATINGS

V. A. Kalinichenko, A. A. Andrushevich, L. P. Dolgiy, S. V. Martseva

Abstract

The paper considers the advantages of induction melting in a vacuum environment, ensuring the production of high-alloy alloys based on refractory components, free from harmful impurities with specified properties. The processes occurring in alloys during melting, holding and pouring are considered. The resulting alloys are primarily planned to be used as protective coatings for composite materials. These alloys include refractory wear-resistant alloys, such as the Cu-Ti system and high-entropy alloys, which are compositions containing from 5 to 13 elements with approximately equal concentrations. The structure of the resulting material and the distribution of elements over the ingot cross-section are presented.

Keywords: Induction melting, lining, degassing, refining, composite materials, complex-alloyed refractory alloys, high-entropy alloys.

Введение

В промышленности применяется широкая номенклатура литых композиционных материалов (ЛКМ). Не все из них должны обладать равномерными свойствами по всей толщине литых деталей, что связано со спецификой их эксплуатации. Наибольшее воздействие отрицательных факторов принимает та часть ЛКМ, которая вступает во взаимодействие с окружающей средой или контртелом. Для повышения функциональных свойств рабочих поверхностей могут быть применены покрытия на основе таких материалов, как высокоэнтропийные сплавы и тугоплавкие износостойкие сплавы. Их получение рационально с использованием процесса выплавки в вакуумных печах.

В вакуумных индукционных печах используют обычно средний вакуум от 133,3 Па. Преимуществом плавки в вакуумных печах является пониженное содержание газов и неметаллических включений в полученном металле. При плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, интенсивно выделяются газы из металла, заметно испаряются как основные компоненты сплава, так и их примеси с высокой упругостью пара [1]. Основные физико-химические процессы, протекающие в жидком расплаве при плавке в вакууме – дегазация и испарение летучих веществ и восстановление металла.

Основная часть

Вакуумная выплавка многокомпонентных сплавов.

Дегазация металла от водорода и азота. Для получения содержания водорода в металле $1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, достаточно, чтобы остаточное давление при $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ составляло около 133,3 Па [2]. Азот имеет более низкий коэффициент диффузии, чем водород, в результате чего он удаляется при вакуумной плавке значительно труднее. Одновременное рафинирующее действие на расплав заключалось в том, что при понижении давления, по закону термодинамики, из него активно выделяется водород. Поскольку в жидком расплаве водород

адсорбирован на неметаллических включениях, то он увлекает их на поверхность или, если имеют высокую плотность, они оседают на дно.

Наиболее благоприятные условия для раскисления металла в вакууме создаются в том случае, когда продукты раскисления образуются в виде газа, например, при раскислении углеродом, который непрерывно удаляется из объема печи. Однако в действительности раскислительная способность углерода резко падает даже при снижении давления до 133,3 Па. Объясняется это тем, что в газовых пузырьках, которые образуются на шероховатых поверхностях футеровки, парциальное давление монооксида углерода гораздо более высокое, чем в расплаве. В результате этого затрудняется агрегация давления монооксида углерода.

Испарение компонентов жидкого металла зависит как от упругости пара и скорости испарения при данных значениях температуры, так и от давления газовой фазы над расплавом. Наиболее высокой упругостью пара в условиях плавки в вакууме обладают такие компоненты, как марганец и в меньшей степени хром и кремний. Из примесей известных металлов наиболее благоприятные условия для удаления испарением имеют примеси олова и меди. Заметные потери хрома путем испарения наблюдаются при повышенном его содержании. Молибден и вольфрам не испаряется в жидкой стали. Потери этих элементов могут иметь место при повышенном содержании в стали кислорода, при этом окислы молибдена и вольфрама весьма летучи. Такие элементы как титан и алюминий также испаряются при вакуумной плавке, но весьма легко окисляются и всплывают на поверхность расплава [3].

Восстановление и удаление неметаллических включений. Термодинамические расчеты показывают [4], что в условиях вакуума углерод, находящийся в расплаве, способен восстанавливать Mn и Cr из оксидов (MnO , Cr_2O_3) и в меньшей степени Si и SiO_2 . При этом уменьшается количество крупных неметаллических включений. Для возможности восстановления тугоплавких оксидов таких элементов как Ti, Al, В, Се, плавку ведут при повышенной температуре. Уменьшение количества неметаллических включений объясняется не только более успешным восстановлением и более интенсивным всплыванием их вместе с пузырьками газа CO, но и самостоятельно в результате снижения вязкости металла и его перемешивания.

При вакуумной плавке металла происходит разрушение футеровки в результате механического воздействия жидкого металла, повышенной диссоциации в вакууме некоторых компонентов, а также восстановление отдельных компонентов футеровки при химическом взаимодействии с элементами, находящимися в составе сплава.

В связи с этим создана возможность выплавки с использованием вакуумной индукционной плавильной установки фирмы Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd (рисунок 1).

Для создания специальных покрытий, улучшающих эксплуатационные свойства ЛКМ, могут быть использованы высокоэнтропийные сплавы (ВЭС). Данный класс материалов представляют собой сплавы, содержащие обычно от 5 до 13 элементов с примерно равными концентрациями от 5 до 35 ат. % [5].



Рисунок 1 – Вакуумная 10-килограммовая индукционная плавильная установка фирмы Zhengzhou Brother Furnace Co. Ltd

В большинстве случаев ВЭС получают путем плавления материалов с последующей их кристаллизацией в вакууме с применением индукционного нагрева [6]. При этом, с целью повышения степени однородности отливок, их переплавляют несколько раз. Слитки, полученные в вакуумной печи, деформируют прокаткой, после чего они готовы для наплавки на композиционную подложку. В результате получаемый материал обладает высокой твердостью, прочностью, износостойкостью [7], характеризуется повышенной пластичностью при низких температурах, коррозионной стойкостью, термической стабильностью [10], устойчивостью к ионизирующим излучениям, которые улучшают поверхностные характеристики деталей из литых композиционных материалов.

Уникальные свойства многокомпонентных ВЭС обусловлены проявлением рядом эффектов [8]. Один из них связан с высокой энтропией сплава, второй – с искажениями кристаллической решетки, третий – с замедленной диффузией компонентов сплава.

Эффект высокой энтропии, определяется уровнем конфигурационной энтропии. При этом поиск составов высокоэнтропийных стабильных сплавов осложняется рядом обстоятельств [8]. Одно из них заключается в том, что применимость зависимостей, надежно описывающих условия стабильности идеальных растворов, по отношению к реальным твердым растворам неочевидна.

Использование большого числа компонентов ВЭС вызывает эффект искажений кристаллической решетки, который обусловлен различием размеров атомов, образующих многокомпонентную систему. Искажения кристаллической решетки в значительной степени определяют уровень прочностных свойств ВЭС. Степень искажений минимальна при соседстве атомов, близких по своим размерам. В сплавах, состоящих из атомов, существенно различающихся по размерам, формируются более крупные пустоты – междоузлия. В этих пустотах могут располагаться внедренные атомы, формирующие область локальных напряжений [8]. Источниками искажений являются также

крупные атомы, расположенные в узлах кристаллической решетки и окруженные более мелкими атомами, положение которых также соответствует узлам решетки.

Замедленная диффузия представляет собой третий эффект, определяющий стабильность структуры и комплекс свойств высокоэнтропийных сплавов. Благоприятное влияние низкой скорости диффузии отражается в повышении термической и химической стабильности ВЭС [9]. В качестве факторов, объясняющих торможение диффузионных процессов, отмечают искажения кристаллической решетки и иные особенности, характерные для ВЭС [9].

Перспективными материалами, выплавляемыми с помощью вакуумной индукционной плавки, можно назвать тугоплавкие сплавы, например, системы Cu – Ti – C. Основные области применения сплавов этой системы – различные типы контактных соединителей в автомобилестроении, замена обычных медно-бериллиевых сплавов, применяющихся, в том числе, в качестве матрицы для производства литых композиционных материалов, из-за растущего спроса на замену бериллия с его крайне вредными свойствами. По причине того, что титан сильно реагирует почти со всеми атмосферными газами, со значительными потерями качества и выхода годного, необходимо использование технологии вакуумной индукционной плавки. При этом должна быть предусмотрена возможность одновременной плавки и заливки металла в форму.

Были получены образцы системы Cu – Ti (70 % Cu и 30 % Ti) + C. Данные образцы были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа. На рисунке 2 показана фотография образца после выплавки в индукционной вакуумной печи.

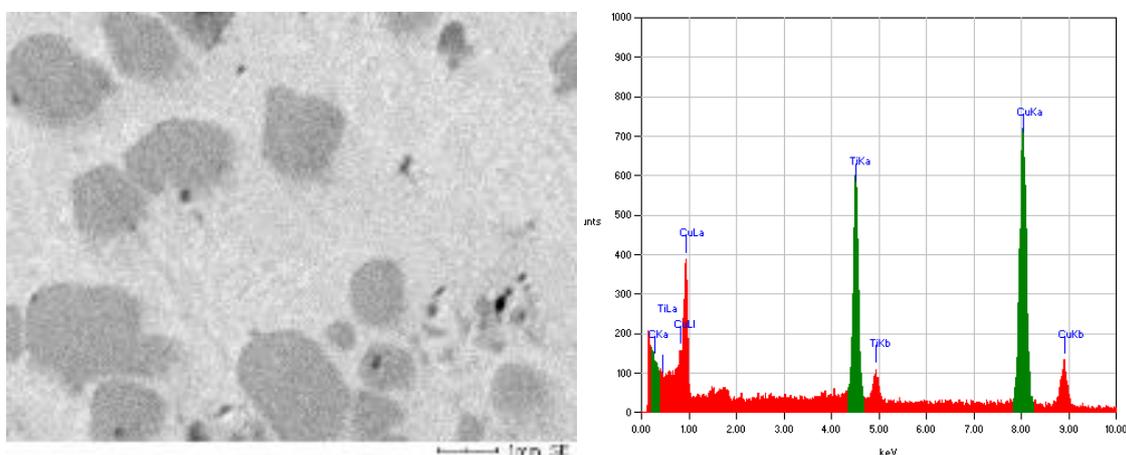


Рисунок 2 – Микроструктура и спектр основных элементов образца системы Cu – Ti – C

Результаты сканирования показали, что медь как основной компонент матричного сплава (более 70 % по массе), присутствует относительно равномерно по всей сканируемой плоскости. Однако в областях присутствия титана находятся обедненные им области, Титан также распределен равномерно, но есть и включения с его повышенной концентрацией, Углерод, вводимый для карбидизации титана, распределен равномерно по площади, что, скорее всего, связано с его низкой реакционной активностью с медью.

Заключение

Плавка тугоплавких сплавов в индукционных вакуумных печах позволяет значительно ограничить контакт расплава с активными газами из атмосферы, добиться глубокой дегазации металла, дает возможность удаления растворенных примесей ряда цветных металлов и возможность выплавки высокотемпературных терморепактивных сплавов практически любого состава.

Рассмотренные примеры не исчерпывают возможные области эффективного применения покрытий, способных повысить качество поверхности макронеоднородных литых композиционных материалов, однако свидетельствуют о больших перспективах использования этих сплавов при изготовлении различных деталей современной техники.

Наиболее эффективным и технически целесообразным на основании проведенных исследований является использование в качестве материалов для таких покрытий высокоэнтропийных и высокоизносостойких тугоплавких сплавов.

Полученные экспериментальные данные показали, что использование вакуумной индукционной плавки дает возможность получения сплавов системы Cu – Ti – C без присутствия растворенных в них газов, в том числе кислорода, и, как результат, получаемые отливки обладают высокой плотностью без газовой пористости и раковин. Качество и плотность получаемого материала определяются типом растворенных элементов и температурно-временным режимом плавки.

Список цитированных источников

1. Чередниченко, А. С. Вакуумные плазменные электропечи : монография / А. С. Чередниченко, Б. И. Юдин. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 583 с.
2. Выбор и применение материалов : учебное пособие : в 5 т. / Минск : Беларуская навука. – Т. 3 : Выбор и применение специальных сталей и сплавов / Н. А. Свидуневич [и др.]. – 2019. – 529 с.
3. Качанов, Е. Б. Методы спецметаллургии – основа производства высококачественных сталей и сплавов / Е. Б. Качанов // Сталь. – 2088, № 12. – С. 81–83.
4. Лущик, П. Е. Определение параметров кинетики затвердевания и моделирование литейных процессов при получении отливок из модифицированных сплавов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Лущик Павел Евгеньевич. – Минск, 2018. – 26 с.
5. Otto, F. Relative effects of enthalpy and entropy on the phase stability of equiatomic high-entropy alloys / F. Otto, Y. Yang, H. Bei, E. P. George // Acta Materialia. – 2013, № 61 (7). – P. 2628–2638.
6. Yeh, J.-W. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes / J.-W. Yeh, S.-K. Chen, S.-J. Lin [et al.] // Advanced Engineering Materials. – 2004. – Vol. 6. – P. 299–303.
7. Андрушевич, А. А. Особенности получения композиционных материалов с матрицей на основе меди Материалы МНТК «Белагро-2019». Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК / А. А. Андрушевич, В. А. Калиниченко. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 151–156.
8. Рогачев, А. С. Структура, стабильность и свойства высокоэнтропийных сплавов / А. С. Рогачев // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121, № 8. – С. 807–841.
9. Башев, В. Ф. Структура и свойства высокоэнтропийного сплава CoCrCuFeNiSn_x / В. Ф. Башев, А. И. Кушнерев // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115, № 7. – С. 737–741.

References

1. Cherednichenko, A. S. Vakuumnye plazmennye elektropechi : monografiia / A. S. Cherednichenko, B. I. Iudin. – M. : INFRA-M, 2018. – 583 s.

2. Vybor i primeneniye materialov : uchebnoye posobie, T,3, Vybor i primeneniye spetsial'nykh staley i splavov / N, A, Svidunovich [idr.], – Minsk : Belaruskaya navuka, 2019. – 529 c.
3. Kachanov E. B. Metody spetsmetallurgii. – osnova proizvodstva vysokokachestvennykh staley i splavov / E. B. Kachanov // Stal. – 2088, № 12. – S. 81–83.
4. Lushchik, P. E. Opredeleniye parametrov kinetiki zatverdevaniya i modelirovaniye liteynykh protsessov pri poluchenii otlivok iz modifitsirovannykh splavov: Avtoref, dis, kand, tekhn, nauk, – Minsk, 2018. – 26 s.
5. Otto, F.; Yang, Y.; Bei, H.; George, E. P. (April 2013), "Relative effects of enthalpy and entropy on the phase stability of equiatomic high-entropy alloys", Acta Materialia, 61 (7): 2628–2638,
6. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes / J.-W, Yeh, S.-K, Chen, S.-J, Lin, J.-Y, Gan, T.- S, Chin, T.-T, Shun, C.-H, Tsau, S.-Y, Chang // Advanced Engineering Materials, – 2004, – Vol, 6, – P, 299–303, – DOI: 10,1002/adem,200300567,
7. Andrushevich A. A. Kalinichenko V. A. Osobennosti polucheniya kompozitsionnykh materialov s matritsei na osnove medi Materialy MNTK «Belagro-2019», Sovremennyye problemy osvoeniya novoy tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK, – Minsk: BGATU, 06-07,06,2019, S,151-156,
8. Rogachev A. S. Struktura, stabil'nost' i svoystva vysokoentropiynykh splavov // Fizika metallov i metallovedeniye, – 2020, – T, 121, № 8, – S, 807– 841,
9. Bashev V. F. Kushnerev A. I. Struktura i svoystva vysokoentropiynogo splava CoCrCuFeNiSnx // Fizika metallov i metallovedeniye, – 2014, – T, 115, №7, – C,737–741,

УДК 621.83.06

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЯ БЕГОВЫХ ДОРОЖЕК ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

А. В. Капитонов, к. т. н., доцент, доцент кафедры технология машиностроения, Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь, e-mail: kavbru@gmail.com

Реферат

В статье рассмотрены вопросы оценки точности изготовления и контроля профиля беговых многопериодных дорожек планетарных редуцирующих механизмов с телами качения. Разработаны методы оценки точности профиля многопериодной дорожки с использованием технологии координатных измерений на координатно-измерительной машине. Методы заключаются в измерении изготовленного реального профиля многопериодной дорожки с некоторым линейным шагом, получении массива координат точек профиля в результате измерений и проведении вычислений погрешностей профиля дорожки в соответствии с назначенными показателями точности, характеризующими угловое положение координат точек и линейное отклонение профиля дорожки. Разработаны компьютерные программы для обработки экспериментальных результатов измерений и расчета погрешностей, определяющих точность профиля многопериодной дорожки. Для оценки влияния точности изготовления профиля беговых дорожек на кинематическую погрешность планетарных механизмов с телами качения использовался гармонический анализ с построением амплитудно-частотных спектров кинематических погрешностей установленных показателей.

Ключевые слова: беговая многопериодная дорожка, методы оценки точности, показатели точности, планетарные передачи.

METHODS FOR EVALUATING THE ACCURACY OF THE TREADMILL PROFILE OF PLANETARY MECHANISMS WITH ROLLING ELEMENTS

A. V. Kapitonov

Abstract

The article deals with the issues of evaluating the accuracy of manufacturing and control of the profile of large multi-period tracks of planetary reducing mechanisms with bodies of quality. Methods for estimating the accuracy of the multi-period track profile using coordinate measurement technology on a coordinate measuring machine have been developed. The methods consist in measuring the manufactured real profile of a multi-period track with a certain linear step, obtaining an array of coordinates of profile points as a result of measurements and calculating errors of the track profile in accordance with the assigned accuracy indicators characterizing the angular position of the coordinates of the points and the linear deviation of the track profile. Computer programs have been developed for processing experimental measurement results and calculating errors that determine the accuracy of the multi-period track profile. To assess the effect of the manufacturing accuracy of the treadmill profile on the kinematic error of planar mechanisms with rolling elements, a harmonic analysis was used with the construction of amplitude-frequency spectra of kinematic errors of installed indicators.

Keywords: multi-period treadmill, accuracy assessment methods, accuracy indicators, planetary transmissions.

Введение

Многопериодные беговые дорожки планетарных передач с телами качения являются важными элементами их конструкции [1–4]. Они в наибольшей степени влияют на эксплуатационные характеристики передачи и поэтому к ним предъявляются высокие требования геометрической точности профиля, так как по поверхностям дорожек перемещаются сателлиты – шарики или ролики. Периодический профиль дорожки может быть образован фрезерованием концевой фрезой на обрабатывающих центрах. При фрезеровании ось фрезы перемещается по периодической кривой.

Известны методы контроля точности изготовления зубчатых колес [5–7]. Для них разработаны нормы и показатели точности с таблицами допусков, представленных в стандартах. Эти методы контроля приняты за основу для создания методов оценки точности планетарных передач с телами качения, для которых разрабатываются показатели точности, соответствующие особенностям их геометрии и кинематики. В настоящее время проводятся исследования точности различных механических передач, как с эвольвентным зацеплением, так и с профилями деталей зацепления в виде синусоид, циклоид и других кривых [8–14]. Большое количество работ в данном направлении подтверждает актуальность исследований точности механических передач. Однако в этих исследованиях нет разработок норм, показателей и допусков для контроля точности новых типов механических передач. Поэтому для планетарных механизмов с телами качения, для повышения их технического уровня, была поставлена

и решена задача, связанная с разработкой методов оценки точности и показателей точности на основе методов измерения и гармонического анализа погрешностей изготовления.

Разработаны методы оценки точности изготовления профиля многопериодной дорожки с использованием технологии координатных измерений на координатно-измерительной машине (КИМ) DuraMax (Zeiss) [15–18]. Методы заключаются в измерениях на КИМ изготовленного реального профиля многопериодной дорожки с некоторым линейным шагом, получении массива координат точек профиля в результате измерений и проведении вычислений погрешностей профиля дорожки в соответствии с назначенными показателями точности, характеризующими угловое положение координат точек и линейное отклонение профиля дорожки. В среде VBA Excel разработаны компьютерные программы для обработки экспериментальных результатов измерений и расчета погрешностей, определяющих точность профиля многопериодной дорожки. Для оценки влияния точности изготовления профиля беговых дорожек на кинематическую погрешность планетарных механизмов с телами качения использовался гармонический анализ с построением амплитудно-частотных спектров кинематических погрешностей установленных показателей беговых дорожек.

На рисунке 1 представлена координатно-измерительная машина Carl Zeiss DuraMax 5/5/5 с программным обеспечением Calypso, которая использовалась для экспериментальной оценки точности многопериодных дорожек планетарных передач с промежуточными телами качения.



Рисунок 1 – Координатно-измерительная машина DuraMax 5/5/5

Разработка методики измерений методом сканирования и оцифровки криволинейных поверхностей деталей с многопериодными дорожками с выводом координат опорных точек.

Разработана методика сканирования криволинейных поверхностей детали с некоторым заданным линейным шагом точек кривой. Координаты точек определялись следующим образом. Щуп координатно-измерительной машины, соприкасаясь с изготовленной многопериодной дорожкой и перемещаясь по ней, сканировал ее поверхность. С помощью встроенного программного обеспечения Calypso КИМ создает точки реального (изготовленного) профиля многопериодной дорожки, с заданным при предварительной настройке шагом, координаты которых записываются в автоматическом режиме в текстовый файл. Полученные точки (в зависимости от протяженности кривой и дискретности шага) могут быть выведены в текстовый ASCII-файл, либо на печать. Координаты точек, выведенные в ASCII-файл, используются для построения реального профиля кривой, например, в CAD-программе с целью дальнейшего наложения на график идеального профиля кривой и определения погрешностей изготовления, как наибольшей разности между реальным и номинальным профилями.

Опорные точки кривой, соответствующей криволинейной поверхности детали, создаются элементом программы Calypso «Кривая». В CAD-окне программы Calypso задается скорость сканирования (2 или 3 мм/с), длина шага, прямоугольная система координат, стартовая и конечная точки кривой, толщина щупа радиусом 2,5 или 3 мм, пространственная ось – Z, направление обхода кривой. По окончании сканирования в CAD-окне Calypso создается кривая (рисунок 2).

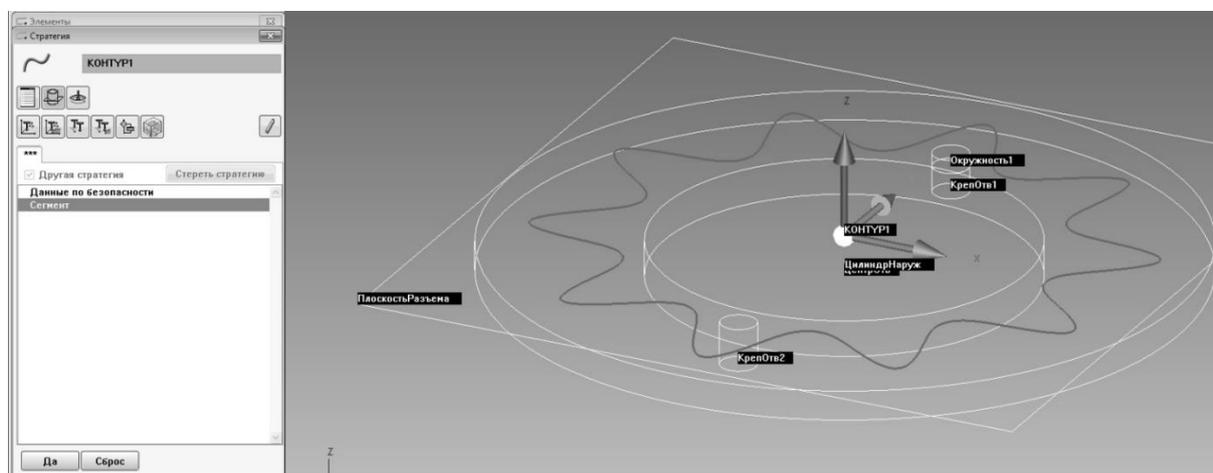


Рисунок 2 – Кривая профиля многопериодной дорожки детали планетарной передачи

Данная кривая представляет собой траекторию перемещения центра щупа, то есть является эквидистантой реальной кривой после редактирования значений координат щупа на величину его радиуса.

Разработка метода и показателей для оценки точности углового положения координат точек профиля многопериодных дорожек после изготовления.

На рисунке 3 показано кольцо с многопериодной дорожкой, которое входит в конструкции планетарных радиально-плунжерных шариковых редукторов

с передаточными отношениями $i = 8$ (одноступенчатый редуктор) и $i = 64$ (двухступенчатый редуктор) [18, 19]. В двухступенчатом редукторе в конструкцию входит два кольца с многопериодной дорожкой в каждой ступени. Детали с многопериодными дорожками в виде колец изготовлены из легированной стали 40X. Периодический профиль дорожки образован фрезерованием концевой фрезой на обрабатывающем центре Mazak Smart 100. При фрезеровании ось фрезы может перемещаться по кривым в виде синусоиды, циклоиды, смещенной окружности или другим кривым с периодическим профилем, замкнутым на плоскости [20]. На рисунке 4 поверхность многопериодной дорожки имеет упрощенный периодический профиль, при этом деталь имеет более технологичную форму профиля дорожки. Профиль криволинейной поверхности этой детали представляет собой сочетание окружностей радиусом 17 мм и прямых с углом наклона 46 градусов, равным наибольшему углу подъема номинальной кривой. Профиль является менее затратным при проектировании и изготовлении.

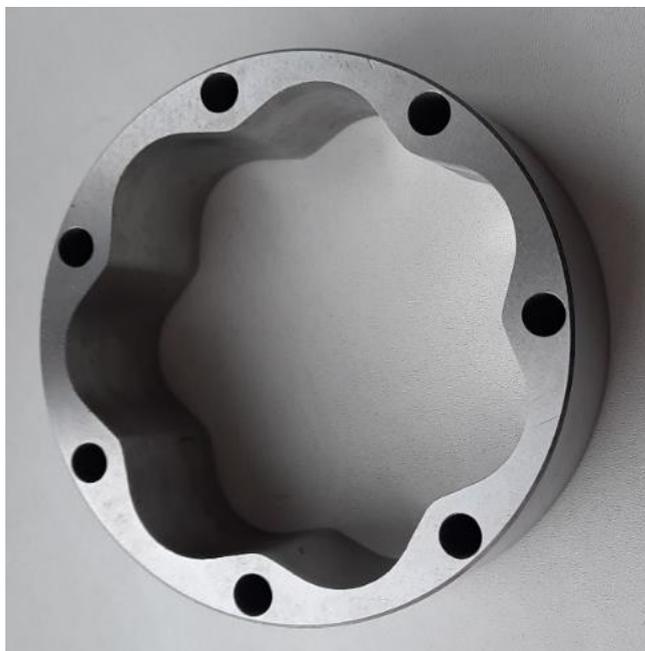


Рисунок 3 – Кольцо с многопериодной дорожкой

Разработан метод для контроля и оценки точности изготовления многопериодных дорожек с установлением показателей точности, характеризующих угловые положения координат точек после изготовления многопериодной дорожки. Метод заключается в измерении путем сканирования и оцифровки криволинейных поверхностей деталей с многопериодными дорожками по разработанной методике и установлении угловых показателей точности. Получено 3272 точки, описывающие реальный профиль многопериодной дорожки после изготовления. Координаты полученных точек использовались в дальнейшем при расчете показателей точности.

Показатели точности углового положения координат точек профиля многопериодных дорожек.

Для контроля и оценки точности изготовления деталей с многопериодными дорожками разработаны и предложены показатели, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические и кинематические показатели точности беговой многопериодной дорожки (МД)

Название показателя	Обозначение показателя
Геометрический показатель	
Координаты действительных (экспериментальных) точек профиля МД	X_d и Y_d
Радиус-вектор действительной (экспериментальной) точки профиля МД	ρ_d
Средний радиус-вектор действительной (экспериментальной) точки профиля МД	$\rho_{д,ср}$
Действительный (экспериментальный) угол между двумя точками профиля МД с координатами X_d , Y_d	φ_d
Кинематический показатель	
Действительный угловой шаг точек профиля МД	$\Delta\varphi_d$
Номинальный средний угловой шаг точек профиля МД	$\Delta\varphi_{н,ср}$
Номинальный переменный угловой шаг точек профиля МД	$\Delta\varphi_{н,пер}$
Отклонение углового шага точек профиля МД	$\Delta\varphi_{проф}$
Накопленная погрешность углового шага точек профиля МД	$\Delta\varphi_{проф}^{нак}$
Номинальный переменный накопленный угловой шаг точек профиля МД	$\Delta\varphi_{н,пер}^{нак}$
Кинематическая погрешность МД	$F_{к.п}^{МД}$

Геометрические показатели многопериодной дорожки определяются по соотношениям

$$\rho_d = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2}; \quad (1)$$

$$\rho_{д,ср} = (\rho_{д(i+1)} + \rho_{д(i)})/2, \quad (2)$$

где i – номер измеряемой точки профиля МД, $i = 1, 2, 3 \dots n$; n – число измеренных точек профиля МД;

$$\varphi_d = \arctg \frac{Y_d}{X_d}. \quad (3)$$

Кинематические показатели многопериодной дорожки определяются по соотношениям

$$\Delta\varphi_{д(i)} = \varphi_{д(i+1)} - \varphi_{д(i)} = \arctg\left(\frac{Y_d}{X_d}\right)_{i+1} - \arctg\left(\frac{Y_d}{X_d}\right)_i, \quad i = 1, 2, 3 \dots n - 1; \quad (4)$$

$$\Delta\varphi_{н,ср} = \frac{2\pi}{n}; \quad (5)$$

$$\Delta\varphi_{н,пер} = \frac{l}{\rho_{д,ср}} - C, \quad (6)$$

где C – постоянная, учитывающая разность между номинальным средним угловым шагом и номинальным переменным угловым шагом точек профиля МД; l – шаг перемещения щупа КИМ, $l = 0,1$ мм;

$$\Delta\varphi_{\text{проф}} = \Delta\varphi_{\text{д}} - \Delta\varphi_{\text{н.пер}}; \quad (7)$$

$$\Delta\varphi_{\text{проф}(i)}^{\text{нак}} = \Delta\varphi_{\text{проф}(i)} + \Delta\varphi_{\text{проф}(i-1)}^{\text{нак}}, \quad i = 1, 2, 3 \dots n; \quad (8)$$

$$\Delta\varphi_{\text{н.пер}(i)}^{\text{нак}} = \Delta\varphi_{\text{н.пер}(i)} + \Delta\varphi_{\text{н.пер}(i-1)}^{\text{нак}}, \quad i = 1, 2, 3 \dots n; \quad (9)$$

$$F_{\text{к.п}}^{\text{МД}} = \varphi_{\text{д}} - \Delta\varphi_{\text{н.пер}}^{\text{нак}}. \quad (10)$$

При расчетах кинематических параметров учитывался номинальный переменный угловой шаг точек профиля дорожки в зависимости от длины радиус-вектора.

В соответствии с разработанным методом и показателями точности, представленными математическими зависимостями (1)...(10), получены численные значения показателей в виде графиков. На рисунке 4 представлен график отклонения углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}$, рассчитанного по формулам (1)...(7). На рисунке 5 показан график значений накопленной погрешности углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}^{\text{нак}}$, рассчитанных по формулам (1)...(8). Кинематическая погрешность многопериодной дорожки (МД) представлена как разность действительных и номинальных переменных угловых положений точек профиля многопериодной дорожки относительно ее оси симметрии или вращения и определяется по формуле (10) с учетом формул (1)...(9).

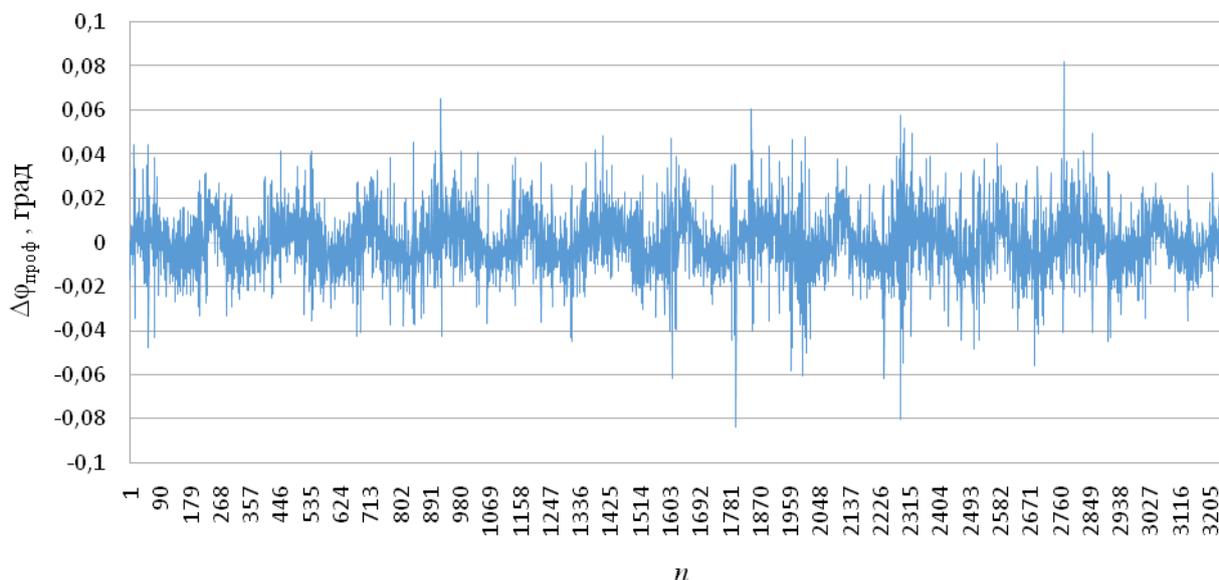


Рисунок 4 – График отклонения углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}$

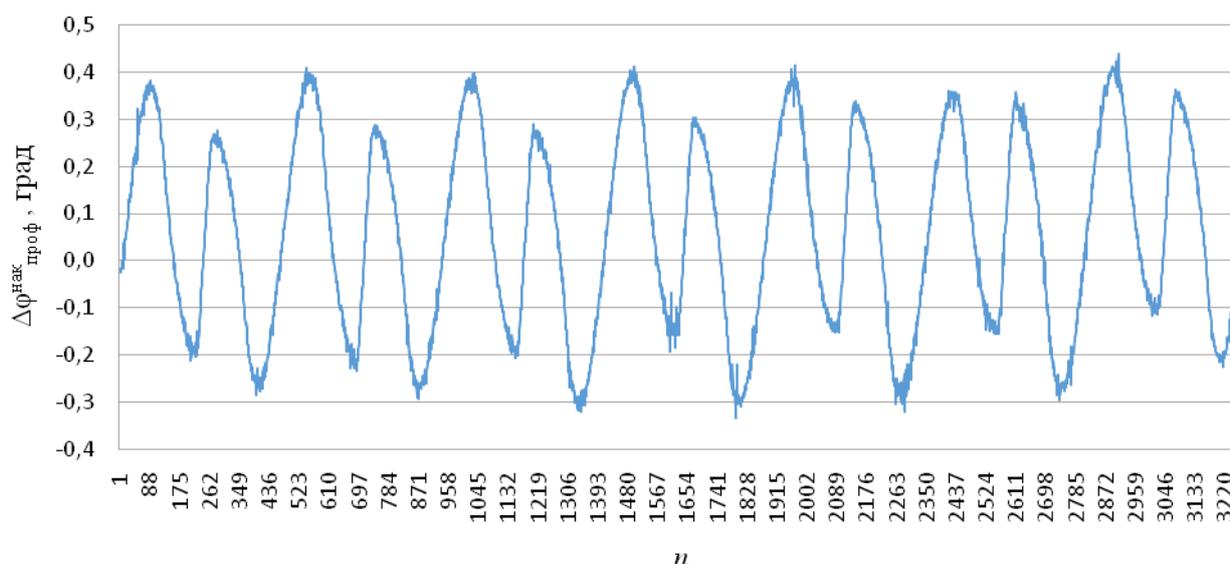


Рисунок 5 – Накопленная погрешность углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}^{\text{нак}}$

На графиках рисунки 4 и 5 параметр n означает количество измеренных точек профиля дорожки в пределах угла 2π . Графики получены с большой дискретностью измерений 3272 точки.

На графиках (рисунки 4 и 5) видны наибольшие и местные погрешности для разных точек поверхности дорожки, также выделяется многопериодная синусоидальная кривая с числом периодов равным числу полупериодов профиля дорожки кольца $2z_2 = 14$. Наибольшее значение действительного углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{д}}$ составило 0,163 градуса; наибольшее значение отклонения углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}$ (рисунок 4) составило 0,166 градуса; наибольшее значение накопленной погрешности углового шага точек профиля многопериодной дорожки $\Delta\varphi_{\text{проф}}^{\text{нак}}$ (рисунок 5) составило 0,775 градуса, что составляет 68 % от кинематической погрешности редуктора с передаточным отношением $i = 64$.

На графиках (рисунки 4 и 5) значения показателей точности представлены для всего профиля дорожки. При работе передачи спутники передают нагрузку только на рабочих участках профиля с углами подъема, соответствующими радиус-векторам близким к среднему радиусу R периодической кривой, поэтому действительные величины этих показателей, которые влияют на кинематическую точность передачи, будут меньше, чем полученные на графиках.

Гармонический анализ значений показателей точности многопериодных дорожек, представленных на графиках (рисунки 4 и 5), позволяет установить частоту их изменения и влияние их на кинематическую погрешность передачи (редуктора).

На рисунке бпредставлен амплитудно-частотный спектр отклонения углового шага точек профиля многопериодной дорожки, график которого показан на рисунке 4.

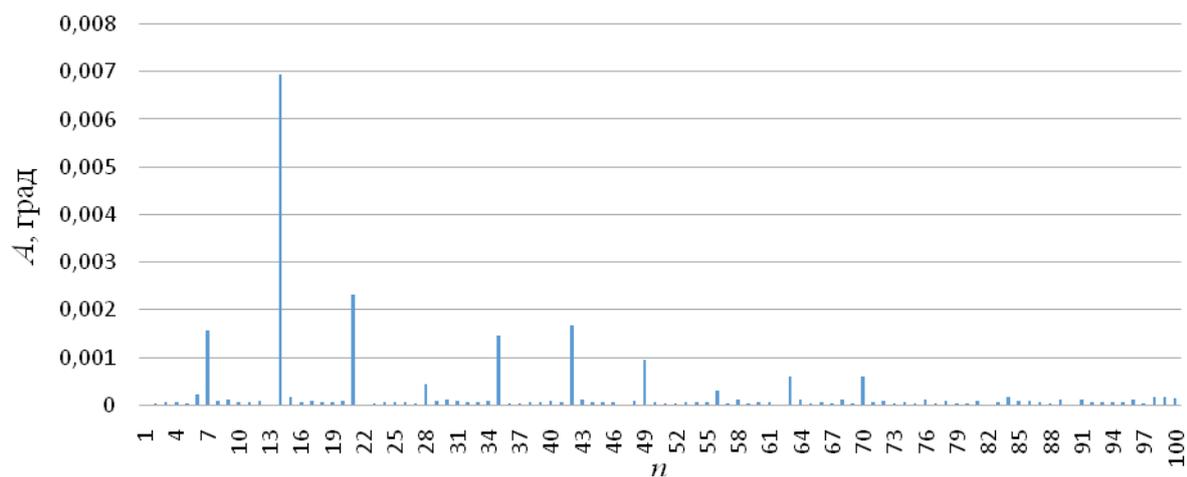


Рисунок 6 – Амплитудно-частотный спектр отклонения углового шага точек профиля многопериодной дорожки

На рисунке 7 представлен амплитудно-частотный спектр накопленной погрешности углового шага точек профиля многопериодной дорожки, график которого показан на рисунке 5.

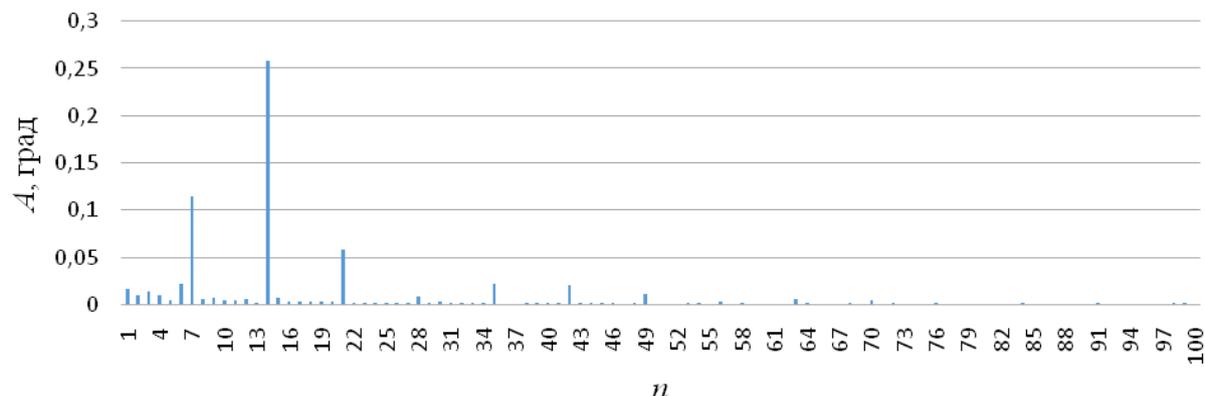


Рисунок 7 – Амплитудно-частотный спектр накопленной погрешности углового шага точек профиля многопериодной дорожки

Амплитудно-частотные спектры (рисунки 6 и 7) включают 100 гармоник с номерами n и значениями амплитуд A в градусах. На спектрах наибольшие амплитуды A имеют гармоники с номерами n кратными числу периодов дорожки $z_2 = 7$. Наибольшие значения имеют гармоники 7, 14, 21, 35, 42. Циклическую частоту этих гармоник с номерами больше единицы можно записать в виде z , $2z$, $3z$, $5z$, $6z$. Период их изменения, соответственно, z^{-1} , $\frac{1}{2}z^{-1}$, $\frac{1}{3}z^{-1}$, $\frac{1}{5}z^{-1}$, $\frac{1}{6}z^{-1}$.

Данный метод предполагает совмещение (привязку) координат действительных и номинальных точек при расчете угловых параметров, поэтому этот метод мало учитывает возможное радиальное смещение детали с многопериодной дорожкой, которое в данном случае проявляется в малом значении амплитуды первой гармоники на амплитудно-частотных спектрах (рисунки 6 и 7).

Разработка метода и показателей для оценки точности линейного отклонения координат точек профиля многопериодных дорожек после изготовления.

Разработан метод и показатели для оценки точности линейного отклонения координат точек профиля многопериодных дорожек после их изготовления.

Метод заключается в совмещении действительного профиля дорожки с номинальным и нахождении линейных отклонений действительных координат точек от их номинального положения.

На рисунке 8 представлена схема геометрических параметров профиля многопериодной дорожки 2 кольца, представленного на рисунке 3, и перемещающегося по оси дорожки 1 сателлита-шарика 3.

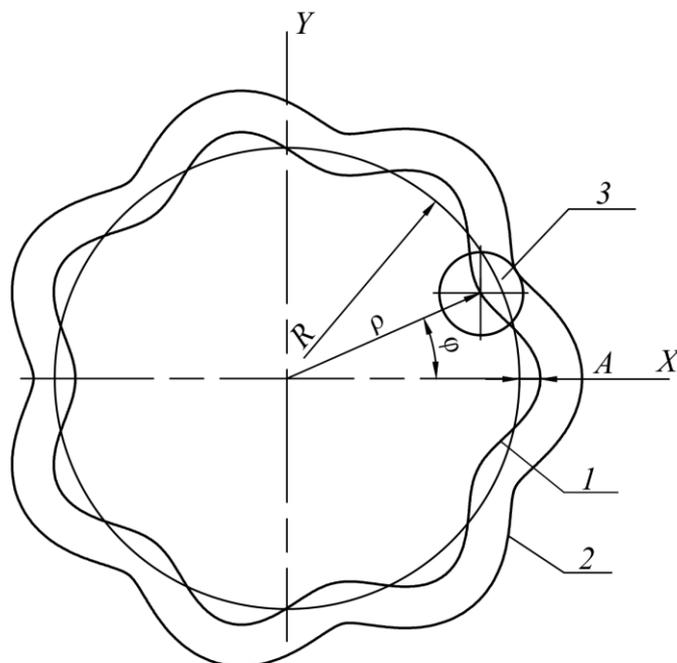


Рисунок 8 – Схема геометрических параметров многопериодной дорожки

В результате экспериментальных исследований криволинейной поверхности многопериодной дорожки на КИМ получен массив координат точек $X_{\text{экс}}$, $Y_{\text{экс}}$, измеренных в плоскости торцового сечения детали с многопериодной дорожкой, т. е. получен действительный профиль многопериодной дорожки в виде экспериментальной кривой, изготовленной с упрощенной геометрией профиля в виде прямых линий и окружностей, как указано выше. Действительный профиль кривой нужно совместить с номинальным. При этом номинальная криволинейная осевая линия 1 многопериодной дорожки (рисунки 3 и 8), эквидистантная кривой профиля беговой дорожки 2, может быть описана уравнениями синусоиды, циклоиды, смещенной окружности и другими кривыми, замкнутыми на плоскости. Наиболее технологичной при проектировании является конструкция осевой линии многопериодной дорожки, описываемая периодической кривой в виде окружности со смещением оси. Эта кривая принята в качестве номинальной.

Номинальная осевая кривая 1 совпадает с осью фрезы при формообразовании многопериодной дорожки. Эта кривая эквидистантна реальной кривой после изготовления, описывающей профиль криволинейной поверхности детали, и отстает от нее на величину равную радиусу фрезы.

На рисунке 9 графически показана номинальная осевая кривая 1, построенная эквидистанта этой кривой 2 и экспериментальная кривая 3, характеризующая действительный профиль многопериодной дорожки. Кривые 2 и 3 имеют разные начальные фазы, они не совмещены.

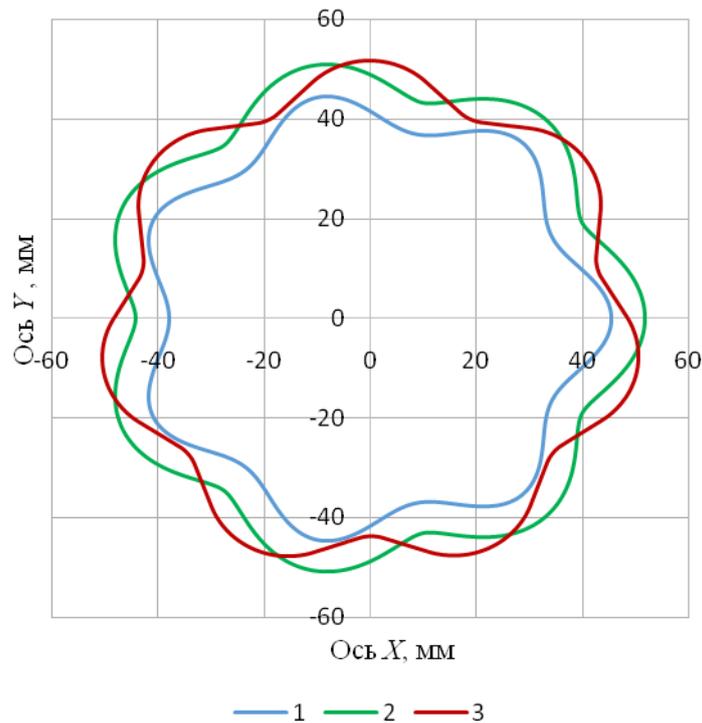


Рисунок 9 – Номинальная и действительная кривые профиля многопериодной дорожки

Так как начальные фазы действительной экспериментальной и номинальной осевой (расчетной) кривых могут не совпадать, то номинальную кривую нужно совместить с действительной кривой поворотом вокруг оси. Новые координаты кривой при повороте

$$X_1 = x \cos \gamma - y \sin \gamma ; \quad (11)$$

$$Y_1 = x \sin \gamma + y \cos \gamma , \quad (12)$$

где γ – угол поворота кривой.

После совмещения кривых найдем отклонение действительного профиля дорожки от номинального Δh соотношением координат расчетной и экспериментальной кривых

$$\Delta h = \sqrt{(X_{\text{экс}} - X_{\text{экс}}^{\text{ном}})^2 + (Y_{\text{экс}} - Y_{\text{экс}}^{\text{ном}})^2} . \quad (13)$$

Так как получено большое число измеренных точек (3272 точки), соответственно, рассчитано большое число отклонений Δh_i многопериодной дорожки и могут быть случайные точки, то Δh принималось как среднее арифметическое значение отклонений Δh_i профиля многопериодной дорожки по формуле

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_i}{n} . \quad (14)$$

Данный метод, в отличие от метода оценки точности углового положения координат точек профиля многопериодных дорожек, позволяет оценивать радиальные погрешности заготовки при ее обработке. Смещение оси детали с многопериодной дорожкой определялось по формуле

$$\Delta_o = \frac{\rho_{\text{экс}}^{\text{ср}} - R - r + h_{\text{щ}}}{2}, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{экс}}^{\text{ср}}$ – среднее значение радиус-векторов измеренных точек профиля многопериодной дорожки; R – средний радиус многопериодной дорожки; r – радиус сателлита; $h_{\text{щ}}$ – толщина щупа, при измерении на КИМ.

При работе передачи сателлиты передают наибольшую нагрузку на ограниченном участке контакта со средней частью полупериода беговой дорожки. Поэтому полупериод беговой дорожки был разделен условно на пять частей и на средней пятой части каждого полупериода был рассчитан параметр Δh , который принят как среднее значение отклонений профилей полупериодов многопериодной дорожки $\Delta h_{\text{ср}}^{\text{мн}}$. Показатель $\Delta h_{\text{ср}}^{\text{мн}}$ составил 0,163 мм. На основе разработанного метода предложены показатели точности линейного отклонения координат точек профиля многопериодных дорожек, представленные выше.

Заключение

Разработаны методы оценки точности изготовления профиля многопериодной дорожки с использованием технологии координатных измерений на координатно-измерительной машине. Разработаны компьютерные программы для обработки экспериментальных результатов измерений и расчета погрешностей, определяющих точность профиля многопериодной дорожки. Для оценки влияния точности изготовления профиля беговых дорожек на кинематическую погрешность планетарных механизмов с телами качения использовался гармонический анализ с построением амплитудно-частотных спектров кинематических погрешностей установленных показателей.

Разработана методика сканирования криволинейных поверхностей детали с некоторым заданным линейным шагом точек кривой. Координаты точек, выведенные в ASCII-файл, использованы для построения реального профиля кривой с целью дальнейшего наложения на график идеального профиля кривой и определения погрешностей изготовления, как наибольшей разности между реальным и номинальным профилями.

Разработаны методы для контроля и оценки точности многопериодных дорожек с установлением показателей точности, характеризующие угловые и линейные положения координат точек после изготовления многопериодных дорожек. В соответствии с разработанными методами и показателями точности, представленными математическими зависимостями, получены численные значения показателей в виде графиков.

Список цитированных источников

1. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика : монография / М. Ф. Пашкевич, В. М. Пашкевич, А. М. Пашкевич, С. В. Чертков. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.

2. Лустенков, М. Е. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности : монография / М. Е. Лустенков. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2010. – 274 с.
3. Капитонов, А. В. Кинематические и массогабаритные характеристики ресурсоэффективных механических передач. Компьютерное моделирование, экспериментальная оценка : монография / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 248 с.
4. Автоматизированное проектирование конструкций малогабаритных радиально-плунжерных редукторов с использованием современных САПР / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов [и др.] // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2015, № 3 (48). – С. 25–32.
5. Тайц, Б. А. Точность и контроль зубчатых колес / Б. А. Тайц, – М. : Машиностроение, 1972. – 368 с.
6. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач : учебное пособие / В. Е. Антонюк, М. М. Кане, С. В. Старжинский [и др.]. – Минск : Технопринт, 2003. – 766 с.
7. Повышение точности механических передач на основе компьютерного моделирования и использования технологий искусственного интеллекта : монография / В. М. Пашкевич [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2011. – 139 с.
8. Jiang, N. Transmission Efficiency of Cycloid–Pinion System Considering the Assembly Dimensional Chain / N. Jiang, S. Wang, A. Yang [et al.] // Applied Sciences. – 2022. – Vol, 12. – 21 p.
9. Pabiszczak, S. Effect of Manufacturing Errors on the Operation of the Eccentric Rolling Transmission / S. Pabiszczak, W. Ptaszynski // Advances in Science and Technology – Research Journal. – 2020. – Vol. 14 (3). – P. 213–222.
10. Lustenkova, E. S. Experimental estimation of efficiency and kinematic accuracy of a spherical roller transmission / E. S. Lustenkova : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020), Tomsk, Russia, 26–30 October 2020. – Vol. 1118. – 6 p.
11. Громыко, П. Н. Использование удлиненной эпициклоиды для формообразования зубчатых поверхностей передач эксцентрикового типа / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский, В. Л. Юркова // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2019, № 1 (62). – С. 14–21.
12. Kapitonov, Alexandr V. Optimization of geometrical parameters and estimation of kinematic accuracy of resource effective planetary transmission. Advances in Engineering Research / Alexandr V. Kapitonov : International Conference on AviaMechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018). – 2018. – Vol. 158. – P. 165–168.
13. Капитонов, А. В. Исследование кинематической погрешности планетарного эксцентрикового редуктора / А. В. Капитонов, Д. В. Непша, М. В. Гончаров [и др.] // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2014. – № 3 (44). – С. 14–24.
14. Капитонов, А. В. Исследование кинематической точности планетарных роликовых передач методами гармонического анализа и контроля в сборе / А. В. Капитонов, С. Г. Черняков // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4 (33). – С. 40–50.
15. Капитонов, А. В. Методы экспериментальных исследований кинематической точности планетарных передач с промежуточными телами качения и контроля профиля беговых дорожек / А. В. Капитонов, С. Г. Черняков, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2016. – № 2 (51). – С. 41–50.
16. Пашкевич, В. М. Математическое обеспечение геометрического контроля сложных периодических профилей с использованием КИМ Dura Max фирмы «Карл Цейс» (Carl Zeiss) / В. М. Пашкевич // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – Могилев, 2014. – № 4. – С. 42–48.
17. Капитонов, А. В. Точность и контроль малогабаритных планетарных механизмов: монография / А. В. Капитонов. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т. – 2021 – 160 с.
18. Капитонов, А. В. Разработка показателей для контроля точности изготовления многопериодных дорожек планетарных передач с телами качения / А. В. Капитонов // Актуальные вопросы машиноведения: сборник научных трудов. – Вып. 10 / Объединенный институт машиностроения Нац. академии наук Беларуси. – Минск, 2021. – С. 7–12.
19. Патент 3258 U Республика Беларусь, МПК В 66В 5/02. Шариковое редукторное устройство для ручного перемещения кабины лифта / Рудник П. М., Тюков А. В., Балабанов

И. Н., Грибов С. С., Миронов С. В., Пашкевич М. Ф., Пашкевич В. М., Пашкевич А. М. ; заявитель Респ. унитарн. предпр-е завод «Могилевлифтмаш». – № и 20060362; заявл. 2006.06.05; опубл. 2006.12.30.

20. Игнатищев, Р. М. Синусошариковые редукторы / Р. М. Игнатищев. – Минск : Выш. школа, 1983. – 107 с.

References

1. Planetarnye kulachkovo-plunzhernye peredachi. Proektirovanie, kontrol' i diagnostika: monografija / M. F. Pashkevich, V. M. Pashkevich, A. M. Pashkevich, S. V. Chertkov. – Mogilev : Bel.-Ros. un-t, 2003. – 221 s.

2. Lustenkov, M. E. Peredachi s promezhutochnymi telami kachenija: opredelenie i minimizacija poter' moshhnosti: monografija / M. E. Lustenkov. – Mogilev: Bel.-Ros un-t, 2010. – 274 s.

3. Kapitonov, A. V. Kinematicheskie i massogabaritnye harakteristiki resursojeffektivnyh mehanicheskikh peredach, Komp'juternoe modelirovanie, jeksperimental'naja ocenka: monografija / A. V. Kapitonov, V. M. Pashkevich, – Mogilev: Bel.-Ros. un-t, 2017. – 248 s.

4. Avtomatizirovannoe proektirovanie konstrukcij malogabaritnyh radial'no-plunzhernyh reduktorov s ispol'zovaniem sovremennyh SAPR / A. V. Kapitonov, K. V. Saskovec, A. I. Kas'janov [i dr.] // Vestn. Bel.-Ros. un-ta. – 2015. – № 3 (48). – S. 25–32.

5. Tajc, B. A. Tochnost' i kontrol' zubchatyh koles / B. A. Tajc. – M. : Mashinostroe-nie, 1972. – 368 s.

6. Tehnologija proizvodstva i metody obespechenija kachestva zubchatyh koles i peredach: Uchebnoe posobie / V. E. Antonjuk, M. M. Kane, Starzhinskij [i dr.], – Mn.: UP «Tehno-print», 2003, – 766 s,

7. Povyshenie tochnosti mehanicheskikh peredach na osnove komp'juternogo modelirova-nija i ispol'zovanija tehnologij iskusstvennogo intellekta: monografija / V. M. Pashkevich [i dr.]. – Mogilev : Bel.-Ros. un-t, 2011. – 139 s.

8. Jiang, N. Transmission Efficiency of Cycloid–Pinion System Considering the Assembly Dimensional Chain / N. Jiang, S. Wang, A. Yang, W. Zhou, J. Zhang // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – 21 p.

9. Pabiszczak, S. Effect of Manufacturing Errors on the Operation of the Eccentric Rolling Transmission / S. Pabiszczak, W. Ptaszynski // Advances in Science and Technology – Research Journal. – 2020. – Vol. 14 (3). – P. 213–222.

10. Lustenkova, E. S. Experimental estimation of efficiency and kinematic accuracy of a spherical roller transmission / E. S. Lustenkova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT 2020). Tomsk, Russia, 26–30 October 2020. – Vol. 1118. – 6 p.

11. Gromyko, P. N. Ispol'zovanie udlinennoj jepicikloidy dlja formoobrazovanija zubchatyh poverhnostej peredach jekscentrikovogo tipa / P. N. Gromyko, S. N. Hatetovskij, V. L. Jurkova // Vestn. Bel.-Ros. un-ta. – 2019, № 1 (62). – S. 14–21.

12. Alexandr V. Kapitonov, Optimization of geometrical parameters and estimation of kinematic accuracy of resource effective planetary transmission, Advances in Engineering Research, International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018). – 2018. – vol, 158. – P. 165–168.

13. Kapitonov, A. V. Issledovanie kinematicheskoy pogreshnosti planetarnogo jekscentrikovogo reduktora / A. V. Kapitonov, D. V. Nepsha, M. V. Goncharov, V. P. Lysov, S. G. Chernjakov // Vestn. Bel.-Ros. un-ta. – 2014. – № 3 (44). – S. 14–24.

14. Kapitonov A. V. Issledovanie kinematicheskoy tochnosti planetarnyh rolikovyh peredach metodami garmonicheskogo analiza i kontrolja v sbore / A, V, Kapitonov, S, G, Chernjakov // Vestn, Belarus,-Ros, un-ta, – 2011, – № 4 (33), – S, 40–50, – DOI: 10,53078/20778481_2011_4_40,

15. Kapitonov, A, V, Metody jeksperimental'nyh issledovanij kinematicheskoy tochnosti planetarnyh peredach s promezhutochnymi telami kachenija i kontrolja profilja be-govyh dorozhek / A, V, Kapitonov, S, G, Chernjakov, K, V, Saskovec, A, I, Kas'janov // Vestn, Belarus,-Ros, un-ta, – 2016, – № 2 (51), S, 41–50, – DOI: 10,53078/20778481_2016_2_41,

16. Pashkevich, V, M, Matematicheskoe obespechenie geometricheskogo kontrolja slozhnyh periodicheskikh profilej s ispol'zovaniem KIM Dura Max firmy «Karl Cejs» (Carl Zeiss) / V, M, Pashkevich // Vest, Mogilev, Bel, Ros, un-ta, – Mogilev, 2014, – № 4, – S, 42–48, – DOI: 10,53078/20778481_2014_4_42,

17. Kapitonov A, V, Tochnost' i kontrol' malogabaritnyh planetarnyh mehanizmov: monografija / A, V, Kapitonov, – Mogilev: Belorus,-Ros, un-t, 2021, – 160 s,

18. Kapitonov A, V, Razrabotka pokazatelej dlja kontrolja tochnosti izgotovlenija mnogoperiodnyh dorozhek planetarnyh peredach s telami kachenija / A, V, Kapitonov // Aktual'nye voprosy mashinovedenija: sbornik nauchnyh trudov, Vyp, 10 / Ob#edinennyj institut mashinostroenija Nacional'noj akademii nauk Belarusi, – Minsk, 2021, – S, 7–12,

19. Pat, 3258 U Respublika Belarus', MPK B 66B 5/02, Sharikovoe reduktornoe ustrojstvo dlja ruchnogo peremeshhenija kabiny lifta / Rudnik P, M., Tjukov A, V., Balaba-nov I, N., Gribov S, S., Mironov S, V., Pashkevich M, F.,; Pashkevich V, M., Pashkevich A, M.,; zajavitel' Respublikanskoe unitarnoe predpriyatje zavod «Mogilevliftmash», – № u 20060362; zajavl, 2006,06,05; opubl, 2006,12,30,

20. Ignatishhev, R, M, Sinusosharikovye reduktory / R, M, Ignatishhev, – Minsk: Vysh, shkola, 1983, – 107 s,

УДК 621.436.068.4

ПОЯВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗАМИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

А. М. Левданский, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: amlaudanski@mail.ru

Я. В. Кудрицкий, старший преподаватель кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: yaroslav,kudriczkij@mail.ru

Н. С. Ялковский, старший преподаватель кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей, Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ira_yalk@mail.ru

Реферат

Изменение длины фаз впуска и выпуска позволяет менять характеристики двигателя, что широко применяется в автоспорте. Крупный японский автопроизводитель фирмы Honda для достижения наилучших характеристик двигателя в любых условиях работы, разработал и использует систему VTEC, автоматически изменяющую фазы газораспределения.

В данной статье рассмотрены основные варианты системы VTEC.

Ключевые слова: изменение фаз газораспределения, электронная система управления, двигатели внутреннего сгорания фирмы Honda.

APPEARANCE AND DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC SYSTEM VALVE PHASE CONTROL

A. M. Levdansky, Y. V. Kudritsky, N. S. Yalkovsky

Abstract

Changing the length of the intake and exhaust phases allows you to change the characteristics of the engine, which is widely used in motorsport. The large Japanese

automaker Honda has developed and uses the VTEC system which automatically changes the timing phases, to achieve the best performance in all engine operating conditions.

This article discusses the main options for the VTEC system.

Keywords: valve timing change, electronic control system, Honda internal combustion engines.

Введение

В обычном четырехтактном двигателе внутреннего сгорания впускные и выпускные клапаны управляются кулачками распредвала. Форма этих кулачков определяет момент начала открытия, ход и конец открытия клапана относительно процесса работы двигателя. Из-за различного поведения топливовоздушной смеси и отработанных газов в цилиндре до и после зажигания на разных оборотах двигателя требуются различные настройки работы клапанов. Так, оптимальное соотношение момента, хода и продолжительности открытия клапана на низких оборотах, выльется в недостаточное наполнение цилиндров на высоких оборотах, что сильно уменьшит выходную мощность. И наоборот, оптимальные настройки для высоких оборотов приведут к неустойчивой работе на холостом ходу. В идеале двигатель должен уметь изменять эти установки в широких пределах, подстраиваясь под ситуацию.

Первые известные попытки изменения фаз газораспределения были предприняты в 1903 г., когда Алонсон П. Браш из Детройта патентом США № 767,794 предложил изменять привод впускных клапанов в ручном режиме, что не прижилось из-за громоздкости конструкции. В 1989 г. на японском автомобильном рынке, а в 1991 г. – на рынке США появились первые автомобили, оснащенные системами VTEC. Это были бензиновые двигатели внутреннего сгорания фирмы Honda.

VTEC

Аббревиатура VTEC полностью расшифровывается как Variable Valve Timing and Lift Electronic Control, что в переводе на русский язык означает: электронная система управления временем открытия и высотой подъема клапанов. Или проще: электронная система регулировки фаз газораспределения. Система позволяет эффективно управлять наполнением топливно-воздушной смеси камер сгорания. Изначально создавалась для условий атмосферного давления, но позже стала применяться и в двигателях с наддувом. На низких оборотах двигателя система обеспечивает экономичный режим работы, на средних – максимальный крутящий момент, на максимальных оборотах – максимальную мощность.

Общий принцип у всех VTEC одинаковый: использование для конкретного клапана различных по профилю кулачков для разных режимов работы, путем замыкания рокеров или коромысел небольшим стержнем, сдвигаемым давлением масла. Система очень проста и надежна (рисунок 1).

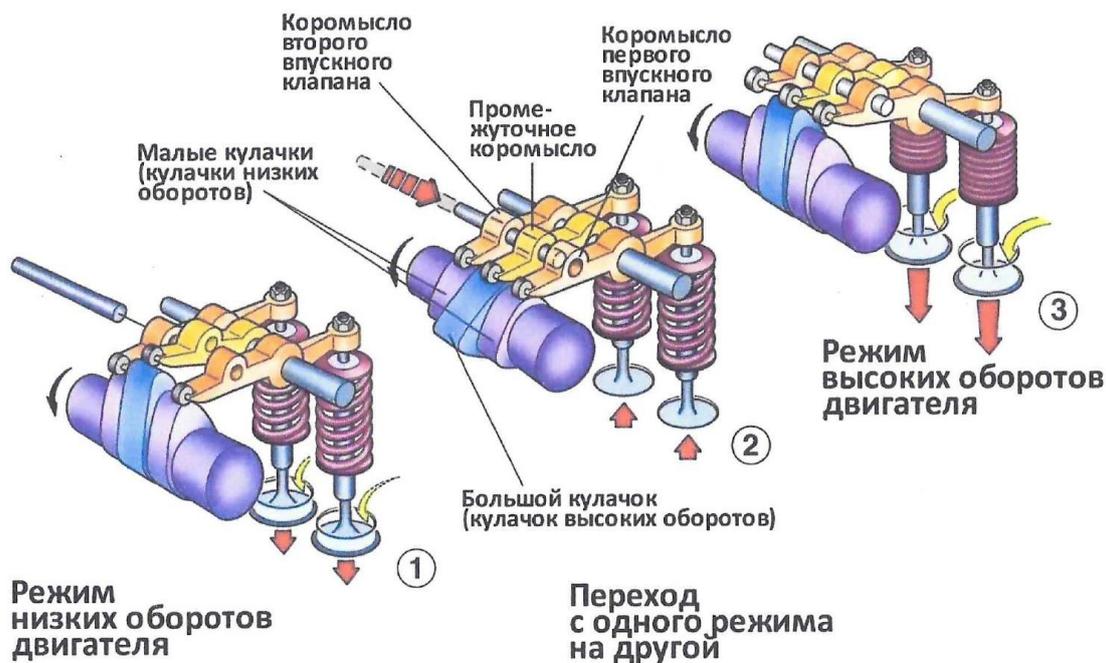


Рисунок 1 – Принцип работы

За годы эксплуатации были реализованы различные конструкции VTEC [1, 2]. Основные из них рассмотрим ниже.

1. SOHC VTEC. Система используется на двигателях с одним верхним распредвалом (SOHC). В основном применяется для оптимизации работы впускных клапанов, Эффективность работы несколько ниже, чем у DOHC VTEC, однако она конструктивно проще и обеспечивает двигателю меньшие габариты и массу. Так, основная задача SOHC VTEC-E – максимально снизить расход топлива и улучшить экологические показатели. На малых оборотах двигатель работает на обедненной топливовоздушной смеси, которая поступает в его цилиндры только через один впускной клапан. Попав туда, рабочая смесь начинает интенсивно завихряться, благодаря чему обеспечивается ее устойчивое сгорание. При увеличении оборотов срабатывает система VTEC, и тогда оба клапана начинают совместную работу.

SOHC VTEC имеет ряд преимуществ по сравнению с системами с двумя верхними распредвалами (DOHC), среди которых простота конструкции, компактность двигателя за счет его незначительной ширины, меньший вес. Кроме того, SOHC VTEC возможно вполне легко использовать на двигателях предыдущего поколения, тем самым модернизируя их. В итоге силовые агрегаты с SOHC VTEC достигают тех же результатов, что и более дорогие системы.

2. Газораспределительный механизм 3-stage SOHC VTEC. Этот механизм представляет собой объединение системы SOHC VTEC и SOHC VTEC-E. Эта система имеет не два режима работы, а три. В зоне низких оборотов система обеспечивает экономичный режим работы двигателя на обедненной топливовоздушной смеси (как VTEC-E). В этом случае используется только один из впускных клапанов. На средних оборотах в работу включается второй клапан, но фазы газораспределения и высота подъема клапанов не изменяются. Двигатель в этом случае реализует высокий крутящий момент. На режиме высоких оборотов оба клапана управляются одним центральным кулачком, отвечающим за снятие с двигателя максимальной мощности. Эта система достаточно

универсальна. Так, например, двигатель объемом 1,5 литра с таким газораспределительным механизмом проявляет неплохую удельную мощность: 86 л. с. на 1 л рабочего объема. Одновременно с этим, если двигатель работает в первом, экономичном 12-клапанном режиме, расход при движении с постоянной скоростью 60 км/ч на автомобиле Honda Civic составляет около 3,5 л на 100 км.

3. DOHC VTEC. Система применяется на двигателях с двумя верхними распредвалами (DOHC). Позволяет управлять как впускными, так и выпускными клапанами, обеспечивая более высокую производительность. Основой для конструирования DOHC VTEC стал широко применяемый 4-клапанный газораспределительный механизм. В системе DOHC VTEC для каждого ряда клапанов (впускных и выпускных) предусмотрено устройство отдельного распредвала.

На каждые два клапана приходится три кулачка на распределительном валу. Боковые два предназначены для работы двигателя на низких и средних оборотах, центральный – на высоких. Кулачки воздействуют на клапана через рокеры, которых тоже три на два клапана. Все три рокера оборудованы гидравлически управляемыми поршеньками, которые при наличии управляющего воздействия сдвигаются и соединяют их в единое целое. Средний рокер оборудован специальной пружиной, которая обеспечивает постоянный контакт кулачка с рокером на низких и средних оборотах.

При работе двигателя на малых оборотах рокеры не заблокированы, и каждый из них совершает независимое движение по закону, описываемому соответствующим кулачком. При этом средний кулачок хотя и вращается вместе с остальными, но в работе газораспределительного механизма участия не принимает.

Как только двигатель перейдет на режим высоких оборотов, электронный “мозг” отдаст команду на исполняющее устройство, в результате давление масла заставит поршеньки в рокерах начать перемещаться, что приведет к блокировке последних. Таким образом, все элементы этой группы станут подконтрольными одному центральному кулачку, который теперь самостоятельно станет управлять работой обоих клапанов.

4, Система i-VTEC (“i” означает интеллектуальный (intelligent)) является наиболее прогрессивной версией VTEC, которая сочетает в себе технологии VTEC и VTC (Variable Timing Control), что позволяет непрерывно изменять фазы газораспределения плавно и динамически на распредвале впускных клапанов в системе DOHC VTEC.

В зоне низких оборотов VTEC обеспечивает экономичный режим работы двигателя на обедненной топливовоздушной смеси. На средних оборотах фазы газораспределения изменяются так, чтобы получить максимальный крутящий момент. Ну, а когда обороты двигателя высокие, система работает не на экономию, а на достижение максимальной мощности.

Конструкция i-VTEC предполагает использование дополнительной системы VTC, непрерывно регулирующую момент начала открытия впускных клапанов. Фазы открытия впускных клапанов задаются в зависимости от нагрузки двигателя и регулируются посредством изменения угла установки впускного распределительного вала относительно выпускного.

Применение системы VTC позволяет эффективнее наполнять цилиндры двигателя топливовоздушной смесью, что выражается в увеличении мощности двигателя на 20 %, крутящего момента на 10 %, снижении расхода топлива и уменьшении вредных выбросов на 10–20 %.

При высоких оборотах времени на открытие-закрытие клапанов значительно меньше, хотя топливовоздушной смеси нужно подавать больше. Следовательно, необходимо увеличить фазу открытия и высоту подъема клапана, чем и занимается VTEC, а система VTC “создает благоприятные условия” для ее эффективной работы.

Если система VTEC с помощью дополнительного кулачка позволяет вогнать клапаны глубже и незначительно увеличивает время открытого состояния, то VTC дает возможность довернуть распредвал таким образом, что клапаны откроются раньше, что способствует более эффективному продуванию цилиндров. В отличие от основной системы VTEC, которая включается в определенном диапазоне оборотов, дополнительная система VTC работает постоянно и непрерывно, регулируя момент открытия впускных клапанов в зависимости от нагрузки на двигатель.

Заключение

Семейство газораспределительных механизмов VTEC дает просто поразительный эффект: их моторы умеют подстраиваться под нагрузку, предоставляя огромную мощность при скромном рабочем объеме. И в то же время на холостом и малом ходах японские моторы поражают выдающейся экономичностью. Вполне возможно, что следующим этапом в развитии систем VTEC станет механизм с отдельными соленоидами (от которых пока отказались из-за высокой стоимости) на каждый клапан, что позволит с хирургической точностью регулировать открытие клапанов. Атмосферные двигатели фирмы Honda имеют преимущества перед турбированными двигателями других производителей в том, что турбина сокращает ресурс мотора. Таким образом, система VTEC является еще одним инновационным подходом в создании мощного малообъемного двигателя, позволяющего с каждого литра мотора снимать до 120 л. с.

Список цитированных источников

1. Система drive2.ru [сайт]. – URL: <https://drive2.ru> (дата обращения: 29.09.2024).
2. Информация об устройстве, поколениях системы V-tec // Wikipedia. – URL: <https://wikipedia.com> (дата обращения: 29.09.2024).

УДК 621.762

ОПТИМИЗАЦИЯ ТМО МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

И. А. Лозиков, к. т. н., доцент, доцент кафедры технологии металлов, Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь, e-mail: Lozikoff@yandex.by

Реферат

В работе приведены результаты исследований влияния технологических факторов на структуру и свойства модифицированных жаропрочных хромовых бронз, полученных с применением механически сплавленных субмикроструктурные лигатуры с большим содержанием основного легирующего компонента при термической и термомеханической обработке. Изучена роль

температуры нагрева и продолжительности выдержки при закалке на кинетику растворения хрома. Получено представление о формирования физико-механических свойств при старении опытных бронз в зависимости от температуры и времени выдержки. Определены граничные условия пластической деформации при термомеханической обработке и получены зависимости для оптимизации процесса производства сплавов с максимальными прочностными характеристиками и свойствами жаропрочности, Исследована микроструктура сплавов на всех этапах ТО и ТМО.

Установлено, что жаропрочные хромовые бронзы, полученные с применением механически сплавленных субмикроструктурных лигатур с большим содержанием основного легирующего компонента, наследуя микроструктурный тип основы на всех этапах обработки, обладают более высоким комплексом физико-механических свойств по сравнению с классическими БрХ и БрХЦр даже после ТО. Применяв ТМО и проведя старение при 490–500° С можно получить уникальное сочетание характеристик прочности и жаропрочности, значительно повысив ресурс изделий электротехнического назначения, что подтверждается производственными испытаниями на ведущих машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

Ключевые слова: Получение, состав, структура, свойства, субмикроструктурные модифицирующие лигатуры, термическая обработка, термомеханическая обработка, хромовые бронзы.

OPTIMIZATION OF TMO OF MODIFIED HEAT-RESISTANT CHROME BRONZES

I. A. Lozиков

Abstract

The paper presents the results of studies of the influence of technological factors during thermal and thermomechanical processing on the structure and properties of modified heat-resistant chrome bronzes obtained using mechanically fused submicrocrystalline ligatures with a high content of the main alloying component. The role of the heating temperature and the duration of exposure during quenching on the kinetics of chromium dissolution has been studied. An idea of the formation of physico-mechanical properties during aging of experimental bronzes depending on temperature and exposure time is obtained. The boundary conditions of plastic deformation during thermomechanical processing are determined and dependences are obtained to optimize the production process of alloys with maximum strength characteristics and heat resistance properties. The microstructure of alloys at all stages of TO and TMO has been studied.

It has been established that heat-resistant chrome bronzes obtained using mechanically fused submicrocrystalline ligatures with a high content of the main alloying component, inheriting the microcrystalline type of base at all stages of processing, have a higher complex of physico-mechanical properties compared with classical BrX and BrXCr even after maintenance. By applying TMO and aging at 490-500 oC, it is possible to obtain a unique combination of strength and heat resistance characteristics, significantly increasing the life of electrical products, which is confirmed by production tests at leading machine-building enterprises of the Republic of Belarus.

Keywords: Production, composition, properties, submicrocrystalline modifying ligatures, heat treatment, thermomechanical treatment, chrome bronzes.

Введение

При большом многообразии бронз электротехнического назначения наибольшее применение нашли сплавы систем «Cu – Sn» и «Cu – Sn – Zr», доля выпуска которых среди всех хромосодержащих сплавов достигает 90 %. Основное их назначение – производство электродов контактной сварки (точечной, шовной, рельефной и др.), а также контактов электротехнических устройств. Хромовые бронзы являются классическими дисперсионно-твердеющими сплавами и имеют оптимальное сочетание физических, механических и эксплуатационных свойств после термической либо термомеханической обработки. Термическая обработка включает закалку, фиксирующую пересыщенный твердый раствор, и старение, в результате которого происходит его распад с выделением дисперсных частиц фаз-упрочнителей. Термомеханическая обработка (ТМО), кроме закалки и старения, включает холодную пластическую деформацию, проводимую после закалки, которая активно влияет на формирование структуры при старении. Абсолютный уровень прочностных свойств у сплавов, прошедших ТМО, значительно выше, чем у сплавов, подвергнутых старению без предварительной деформации [1–3].

Но имеющая место в массовом производстве тенденция интенсификации процессов сварки и рост их энергонапряженности требуют еще более высоких свойств у промышленно выпускаемых бронз. Работоспособность электродов контактной сварки и разрывных контактов электротехнических устройств, а также технологичность их изготовления определяются комплексом из многих составляющих, включающих электропроводность, температуру рекристаллизации, твердость, предел прочности, пластичность и др. Существующие методы обработки свои возможности по упрощению и удешевлению процесса производства бронз, повышению их комплекса физико-механических свойств исчерпали себя. Решение проблемы находится на пути применения новых технологий.

Одним из перспективных способов повышения механических свойств металлических материалов является применение лигатур, содержащих ультрадисперсные включения, выполняющие роль модификаторов первого рода. При этом эффект модифицирования возрастает с уменьшением величины частиц модификатора до наноразмерного. В последнее десятилетие этому научному направлению в мире, в том числе, в Республике Беларусь, уделяется достаточно большое внимание. Некоторые представления о состоянии вопроса дают результаты исследований, приведенные в работах [4–14].

В МОУВО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев) разработана технология реакционного механического сплавления, позволяющая получать субмикроструктурные лигатуры с большим содержанием основного легирующего компонента и синтезированными в процессе обработки наноразмерными соединениями. Они имеют высокий модифицирующий эффект и позволяют производить бронзы микрокристаллического типа с комплексом физико-механических свойств, значительно превосходящим аналоги. Ряд выполненных исследований [15–21] показал перспективность применения новых материалов,

однако на сегодняшний день технология их производства разработана не до конца и требует ряд уточнений.

Целью данной работы являлась оптимизация процессов ТМО модифицированных жаропрочных хромовых бронз, полученных с применением механически сплавленных субмикроструктурных лигатур с большим содержанием основного легирующего компонента.

Материалы, оборудование и методика исследования.

Исследования проводились на образцах хромовых бронз с содержанием хрома 0,9 %, полученных литьем с применением механически сплавленной лигатуры и хромовых бронз марки БрХ1, поставляемых предприятиям Республики Беларусь из Российской Федерации, являющейся основным производителем материалов данной группы. Химический состав сплавов двух групп соответствовал ГОСТ 18175-78 и контролировался при помощи спектрографа SPECTROMAXx (Германия). Нагрев образцов осуществлялся в лабораторной печи SNOL 30/1100, оснащенной PID – регулирующим блоком контроля температуры OMRONE5CN в защитной атмосфере Ar. Металлографический анализ проводился на металлографическом комплексе МКИ-2М (Беларусь), сканирующем электронном микроскопе «Tescan VEGA II SBH» (Чехия). Исследование элементного состава выполнялось на микроскопе «Tescan VEGA II SBH» (Чехия) с системой энергодисперсионного микроанализа «INCA ENERGY 350/XT» с безазотным детектором X-Act ADD (OXFORD Instruments Nano Analysis, Великобритания) при линейном непрерывном и шаговом сканировании, а также сканировании по площади. Механические свойства определялись по стандартной методике на пропорциональных цилиндрических образцах с диаметром в рабочей части 5 мм и с начальной расчетной длиной 25 мм. Исследования выполнялись на разрывной машине МР-100. Твердость измеряли по методу Бринеля на твердомере ТБ-5004. Электропроводность мерили при помощи многофункционального прибора измерения геометрических параметров «Константа К5».

Результаты исследования и их обсуждение.

Особенностью термической обработки хромовых бронз как классических дисперсионно-твердеющих сплавов, является обязательное выполнение закалки от некоторой определенной температуры, образующей твердый раствор максимально возможного пресыщения хромом и последующее старение, при котором образовавшийся пересыщенный раствор распадается с выделением дисперсных частиц хрома или хромсодержащих соединений, являющихся упрочняющими фазами в материалах данного типа. Качество закалки определяется концентрацией хрома в пересыщенном твердом растворе, его содержание можно контролировать методом измерения электропроводности закаленных образцов приборами для измерения электропроводности, что и выполнялось в данной работе.

При выполнении исследований изучалось изменение сопротивления образцов (что указывает о количестве растворенного хрома) в зависимости от температуры закалки и времени нагрева. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

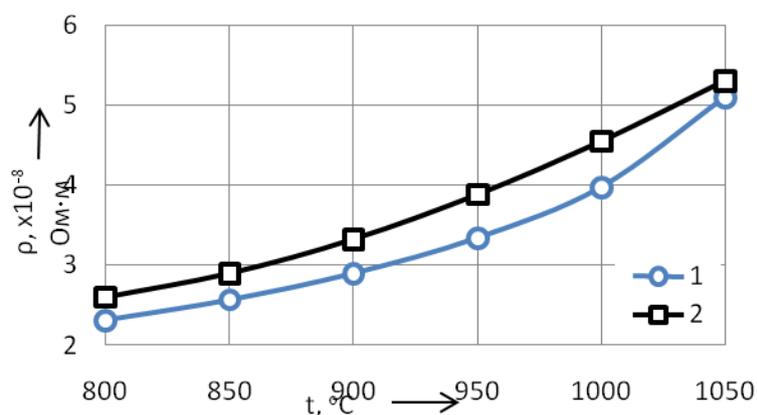


Рисунок 1 – Зависимость электросопротивления БрХ1 (1) и экспериментальной бронзы (2) от температуры закалки

Полученные результаты согласуются с диаграммой состояния Cu – Cr и близки для всех рассматриваемых сплавов. Повышение температуры нагрева под закалку до максимально возможной, приближающейся к температуре эвтектики, приводит к увеличению содержания хрома в твердом растворе, а, следовательно, в дальнейшем к некоторому повышению прочностных свойств.

Более высокое электросопротивление бронзы, полученной с применением механически сплавленной лигатуры можно объяснить дисперсностью структуры, и, как следствие, высокой суммарной поверхностью зерен основы, обусловленной формированием структуры микрокристаллического типа (см. рисунок 2).

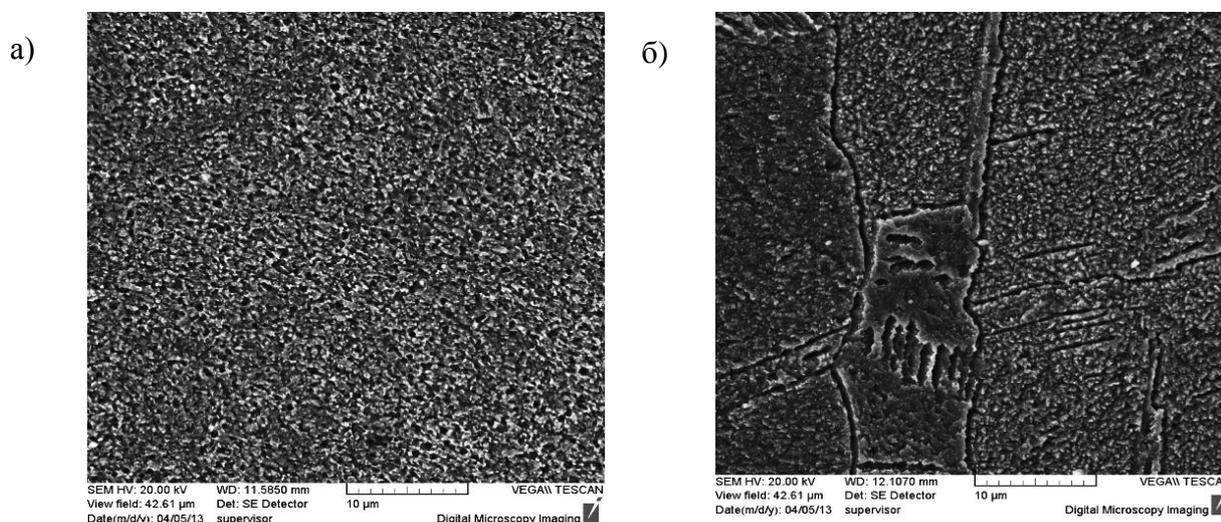


Рисунок 2 – Структура закаленной экспериментальной бронзы (а) и БрХ1 (б):×5000

Это также объясняет высокую твердость разработанных сплавов по сравнению с классической бронзой после закалки с разных температур при одной и той же продолжительности нагрева.

Сравнительные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Твердость после закалки классических и экспериментальных сплавов

Температура закалки, °С	Твердость после закалки классической бронзы БрХ, НВ	Твердость после закалки экспериментальной бронзы БрХ, НВ
800	48	68
850	50	68
900	49	69
950	49	69
1000	48	68
1050	48	68

Но анализ литературных данных, а также опыт промышленного применения хромовой и хромоциркониевой бронз показывает, что оптимальная температура закалки этих сплавов равна $1000 \pm 20^\circ$. Рекомендуемое время выдержки зависит от массы изделия и чаще всего составляет 30–60 минут [1, 22]. Изучение влияния времени выдержки на растворение хрома подтвердил это. При 60 минутах нагрева при температуре 1020°C проходит полное завершение процессов и дальнейшее нахождение образцов в печи на количество находящегося в твердом растворе хрома (величину электросопротивления) заметного влияния не оказывает.

После первой операции термической обработки хромовых бронз – закалки образуется пересыщенный твердый раствор, который при выполнении последующей операции – старения является источником образования наноразмерных частиц хрома, обеспечивающих формирование высоких физико-механических свойств сплавов. Основными факторами, влияющими на полноту протекающих процессов при старении, являются температура нагрева заготовки и время выдержки в нагретом состоянии. Целью исследований на данном этапе являлось определение влияния температуры и продолжительности нагрева при старении на структуру и свойства жаропрочных электротехнических хромовых бронз.

Изменения величины электрического сопротивления и твердости от температуры старения для экспериментальной бронзы и БрХ1 представлены на рисунке 3.

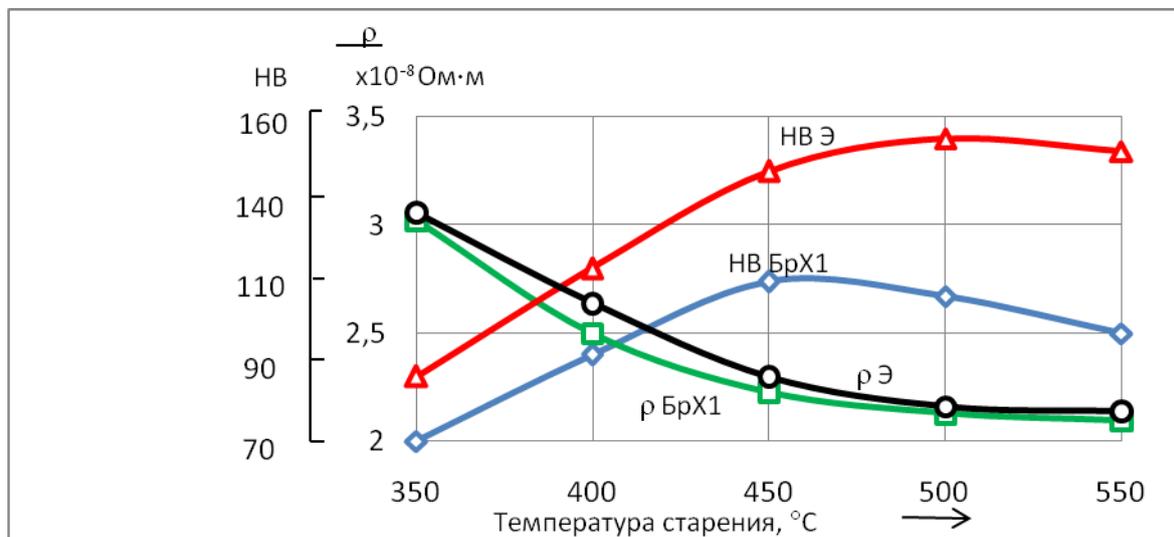


Рисунок 3 – Зависимость изменения электрического сопротивления и твердости от температуры старения для экспериментальной бронзы (Э) и БрХ1

На рисунке 4 представлены результаты исследования продолжительности нагрева при старении на твердость и электропроводность экспериментальных сплавов.

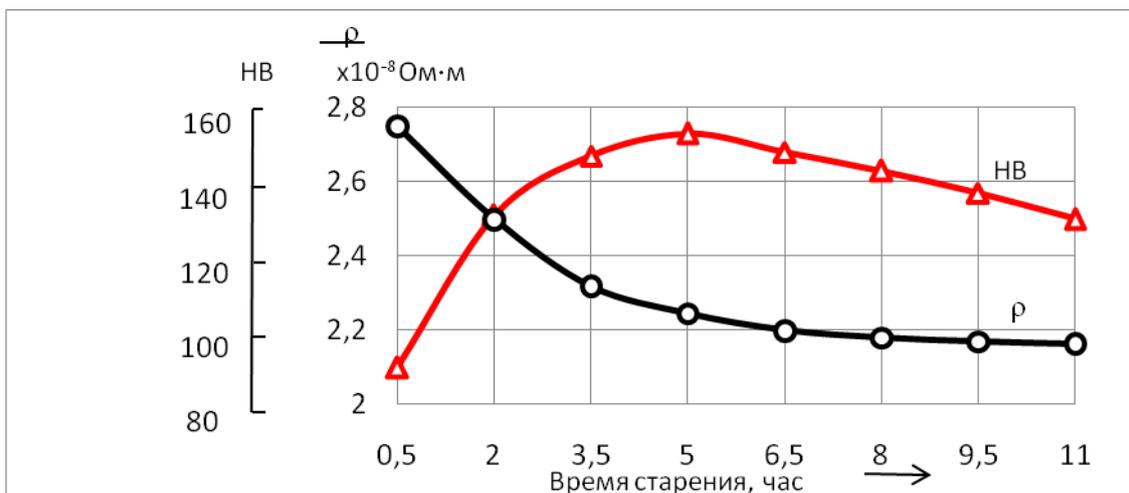


Рисунок 4 – Зависимость изменения электрического сопротивления и твердости от времени старения для экспериментальной бронзы

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что для модифицированных бронз оптимальный температурный интервал старения находится в пределах 490–500° С, что на 40–50° С превышает температуру старения классических бронз, тем самым доказывая более высокие свойства жаропрочности разработанных сплавов. Снижение температуры не позволяет завершиться процессам распада пересыщенного раствора и выделению упрочняющей фазы, на что указывает высокое электросопротивление и пониженная твердость образцов. А ее повышение ведет к коагуляции дисперсных включений хрома и, как следствие, разупрочнению сплава. Распад твердого раствора и выделение упрочняющей фазы практически полностью завершается в течение 3–3,5 час. Максимальное значение твердости достигается через 4,5–5 часов. Дальнейшая выдержка приводит к разупрочнению сплава, что объясняется началом процесса коагуляции и укрупнению частиц хрома. На этот процесс также указывает и некоторое повышение электропроводности.

При этом твердость и электропроводность БрХ1 после старения не достигает своего максимума, что предполагает неполное протекание вышеуказанных процессов даже при оптимальных температурах. Достигнуть большей полноты распада пересыщенного раствора и повышения физико-механических свойств можно применив термомеханическую обработку [1, 2].

Исследования влияния ТМО на свойства и структуру сплавов проводились на образцах того же состава, подвергнутых закалке на воду с температуры 1030° С. Время нагрева перед закалкой составляло 60 минут. Пластическая деформация после закалки осуществлялась поперечной прокаткой со степенью деформации 10, 20, 40,60 и 80 %. После деформации образцы подвергали старению при температуре 450° С (для БрХ1) и 490° С (для экспериментальных бронз) в течение 4-х часов с последующим охлаждением в печи.

Результаты изменения величины электрического сопротивления и твердости от величины степени деформации для сплавов двух типов приведены на рисунке 5.

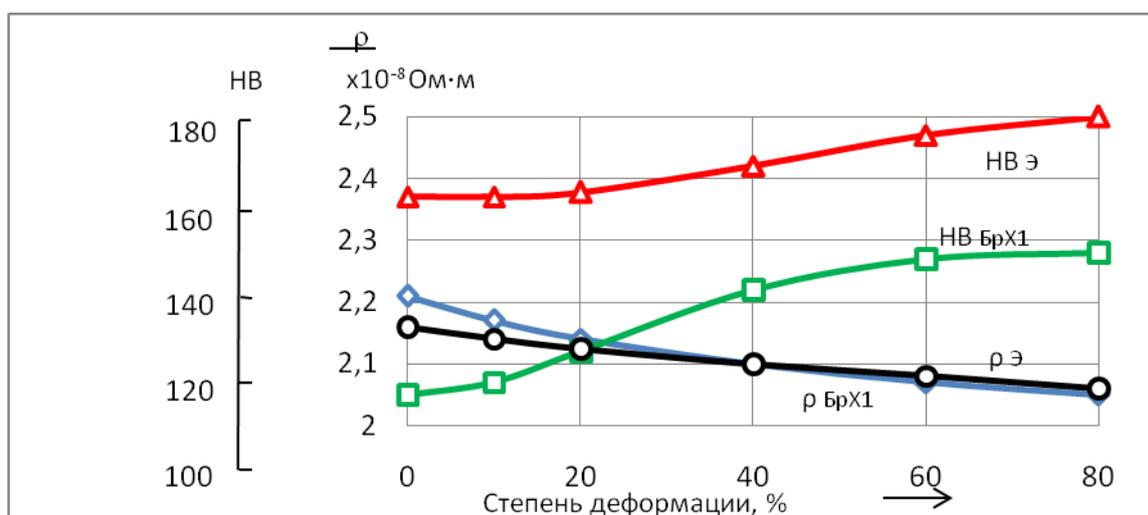


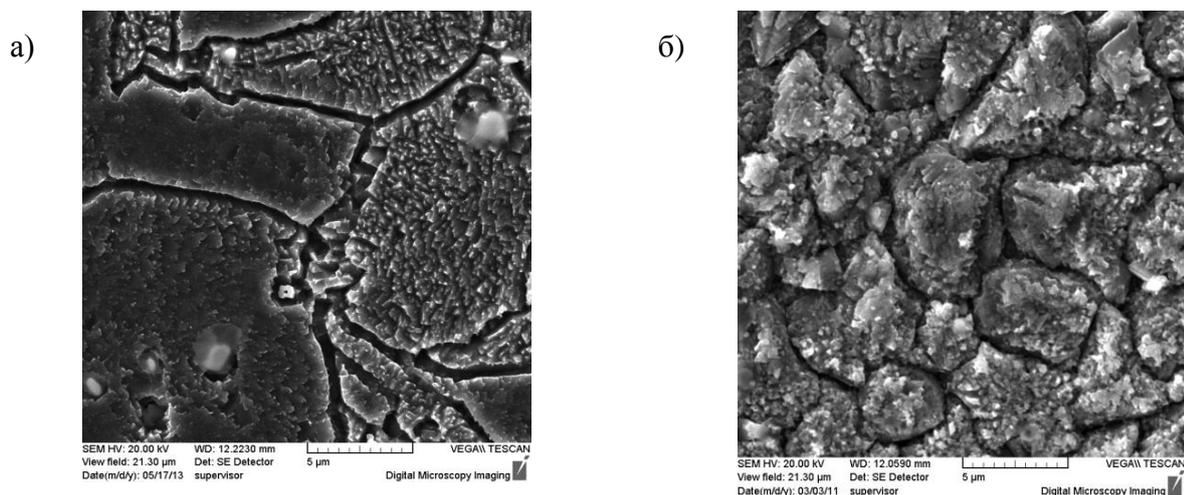
Рисунок 5 – Зависимость изменения электрического сопротивления и твердости от степени деформации для экспериментальной бронзы (Э) и БрХ1

Полученные результаты показывают, что для классических хромо-вых бронз промежуточная пластическая деформация является необходимой операцией, без которой нельзя достигнуть требуемого комплекса физико-механические свойства сплавов. Эффект упрочнения возникает уже после 20 % деформации и достигает максимума при достижении 80 %. При этом наблюдается значительное возрастание электропроводности – с 70–71 % от электропроводности меди без деформации до 78–79 % после деформации с 80 % степенью и твердости со 110 НВ до 130–140 НВ. Это полностью согласуется с механизмом упрочнения подобных сплавов при пластической деформации, приведенном в работах [1, 2].

Экспериментальные сплавы даже без пластической деформации обладают характеристиками твердости, значительно превышающими характеристики аналогов, принятых для сравнения. Пластическая деформация со степенями менее 30 % практически не оказывает влияния на свойства сплава. Дальнейшее ее увеличение до 80 % приводит к приросту твердости на 10–12 % и повышению электропроводности на 0,9–1,2 %, что позволяет получать материалы с комплексом свойств, значительно превышающим существующие аналоги.

Подобное поведение при пластической деформации, возможно, объясняется исходной структурой бронз, полученных с применением механически сплавленной лигатуры и наследовавших ее мелкозернистость. Структура основы бронзы после закалки относится к микрокристаллическому типу и представляет собой зерна твердого раствора размером 0,2–0,5 мкм. При такой величине зерна механизм пластической деформации, возможно, подобен механизму пластической деформации дисперсно-упрочненным материалам, для которых в ее процессе размер и форма зерен практически не меняется.

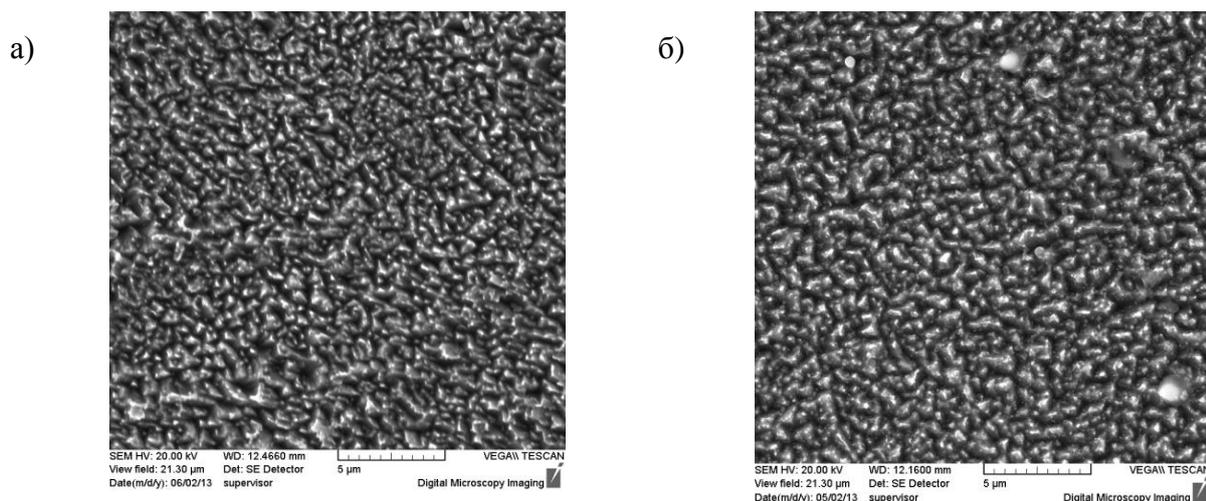
Достоверность приведенных выше рассуждений подтверждает сравнительное изучение структуры образцов до и после пластической деформации. На рисунке 6 приведена структура бронзы БрХ1 подвергнутая термической (а) и термомеханической (б) обработке, из которого видно значительное влияние промежуточной пластической деформации на строение сплава. После ТМО размер зерен основы бронзы уменьшается примерно в 2 раза и составляет 5–8 мкм (см. рисунок 6).



а) закалка + старение; б) закалка + пластическая деформация 80 % + старение: ×10000
Рисунок 6 – Структура образцов бронзы БрХ1

На рисунке 7 приведена структура экспериментальной бронзы, полученной с применением механически легированной лигатуры и подвергнутой термической и термомеханической обработке по режимам, приведенным выше.

Структура относится к микрокристаллическому типу, с размером зерен 0,5–2 мкм. Промежуточная пластическая деформация в процессе обработки (рисунок 7б) не оказывает значительного влияния на структуру сплава.



а) закалка + старение б) закалка + пластическая деформация 80 % + старение: ×10000
Рисунок 7 – Структура образцов экспериментальной бронзы

Применение механически сплавленных модифицирующих лигатур наряду с упрощением и удешевлением технологии получения жаропрочных бронз приводит также к значительному повышению физико-механических свойств. Экспериментальные материалы по таким показателям как прочность, твердость и, в особенности, температуры начала рекристаллизации примерно на 15–20 % превосходят не только БрХ1, но и более дорогую БрХЦр. В то же время, вследствие особенности структуры, примерно на такую величину они уступают последним по пластичности.

Таблица 2 – Физико-механические свойства классических и экспериментальных бронз

Материал	σ_B , МПа	НВ	δ , %	$T_{\text{нач. рек.}}$, °С	$\rho \times 10^8$, Ом·м
БрХ1	440	130–140	34	400	2,23
БрХЦр	500	140–150	30	450	2,18
Экспериментальная бронза	560	175–180	25	600	2,25

Приведенное сочетание свойств обусловлено комплексным упрочнением материалов, включающем зернограничное, дисперсионное и дисперсное. Наличие последнего является решающим фактором, определяющим высокую жаропрочность экспериментальных бронз.

Высокие характеристики сплавов подтверждаются производственными испытаниями изделий, изготовленных из них. По заключению ОАО «Белкард» (г. Гродно) стойкость электродов контактной точечной сварки из экспериментального сплава в 3,8 раза превышает аналогичный показатель для электродов из БрХ1 производства Российской Федерации.

Заключение

Результаты выполненных исследований показывают, что жаропрочные хромовые бронзы, полученные с применением механически сплавленных субмикроструктурных лигатур с большим содержанием основного легирующего компонента, наследуя микроструктурный тип основы на всех этапах обработки, обладают более высоким комплексом физико-механических свойств по сравнению с классическими БрХ и БрХЦр даже после ТО. Применяв ТМО и проведя старение при 490–500°С можно получить уникальное сочетание характеристик прочности и жаропрочности, значительно повысив ресурс изделий электротехнического назначения, что подтверждается производственными испытаниями на ведущих машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Николаев, А. К. Сплавы для электродов контактной сварки / А. К. Николаев, В. М. Розенберг. – М. : Metallurgy, 1978. – 96 с.
2. Николаев, А. К. Хромовые бронзы / А. К. Николаев, А. И. Новиков, В. М. Розенберг. – М. : Metallurgy, 1983. – 175 с.
3. Новиков, И. И. Теория термической обработки / И. И. Новиков. – М. : Metallurgy, 1978. – 392 с.
4. Крушенко, Г. Г. Повышение качества чугуновых отливок с помощью нанопорошков / Г. Г. Крушенко, И. С. Ямских, А. С. Бонченков // Metallurgy машиностроения. – 2002. – № 2. – С. 20–21.
5. Черепанов, А. Н. Применение ультрадисперсных порошков для улучшения свойств металлов и сплавов / А. П. Черепанов, В. А. Полубояров, А. П. Калинина // Материаловедение. – 2000. – № 10. – С. 45–53.
6. Цивирко, Э. И. Модифицирование наночастицами Ti (CN) отливок деталей из сплава ЖСЗДК-ВИ с пониженным содержанием углерода / Э. И. Цивирко, Н. А. Лысенко, В. В. Клачихин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3. – С. 42–44.
7. Ловшенко, Г. Ф. Повышение эффективности модифицирования серого чугуна за счет введения в состав модификатора углерода / Г. Ф. Ловшенко, О. С. Комаров, Н. И. Урбанович // Литье и металлургия. – 2010. – № 3. – С. 47–50.
8. Зыкова, А. П. Влияние модифицирования ультрадисперсными порошками оксидов тугоплавких металлов и криолита на структуру, механические свойства и разрушение чугуна СЧ 25 / А. П. Зыкова, Д. В. Лычагин, А. В. Чумаевский // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2014. – № 11. – С. 37–42.

9. Калиниченко, А. С. Перспективы использования наноразмерных порошков для получения модифицирующих лигатур / А. С. Калиниченко, А. Г. Слуцкий, В. А. Шайнерт // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 1. – С. 65–73.

10. Калиниченко, А. С. Использование модифицирующей лигатуры, содержащей нанодисперсные порошки активных элементов при получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом / А. С. Калиниченко, А. Г. Слуцкий, В. А. Шайнерт // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 3. – С. 101–106.

11. Комаров, О. С. Наноразмерные и ультрадисперсные частицы в литейных технологиях / О. С. Комаров, В. И. Волосатиков, И. Б. Проворова // *Литье и металлургия*. – 2014. – № 2. – С. 42–46.

12. Марукович, Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 217 с.

13. Ловшенко, Ф. Ф. Наноструктурные механически легированные материалы на основе металлов : монография / Ф. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко, Б. Б. Хина ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Ф. Г. Ловшенко. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2008. – 679 с.

14. Термодинамическое моделирование гетерогенного взаимодействия при механическом легировании в системах на основе меди / Ф. Г. Ловшенко [и др.] // *Вестн. Бел.-Рос. ун-та*. – 2012. – № 1. – С. 23–34.

15. Ловшенко, Ф. Г. Научные принципы создания высокостойких хромовых бронз электротехнического назначения с применением технологии, сочетающей реакционное механическое легирование и литье / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Перспективные технологии (монография)*; под ред. В. В. Клубовича. – Витебск : ВГТУ, 2011. – С. 214–233.

16. Ловшенко Ф. Г. Литые хромсодержащие бронзы, получаемые с применением механически легированных лигатур / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Литье и металлургия*. – 2012 – № 3. – С. 131–135.

17. Ловшенко, Ф. Г. Бронзы электротехнического назначения и особенности их производства / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Вестн. Бел.-Рос. ун-та*. – 2012. – № 3. – С. 36–52.

18. Ловшенко, Ф. Г. Получение механически легированных наноструктурных модифицирующих лигатур для производства высокопрочных субмикроструктурных бронз электротехнического назначения / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 2. – С. 115–126.

19. Ловшенко, Ф. Г. Механически легированные модифицирующие лигатуры для производства высокопрочных бронз электротехнического назначения / Ф. Г. Ловшенко, Н. Н. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Материалы 33-й междунар. конф. «Композиционные материалы в промышленности»*, Киев, 1–5 июня 2013 г. / Наука, Техника, Технология [и др.]; редкол. : О. Н. Будадин [и др.]. – Киев, 2013. – С. 69–73.

20. Ловшенко, Ф. Г. Моделирование растворения лигатуры в расплаве меди при выплавке хромовых бронз и оптимизация процесса их производства / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, Б. Б. Хина, И. А. Лозиков // *Литье и металлургия*. – 2013, № 4. – С. 125–133.

21. Ловшенко, Ф. Г. Закономерности формирования механически легированных гранулированных лигатур системы «медь-хром» / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко, И. А. Лозиков // *Вестн. Бел.-Рос. ун-та*. – 2014. – № 2. – С. 37–48.

22. Бутомо, Д. Г. Изменение растворимости хрома в хромовой бронзе марки БрХ0,5 в зависимости от термической обработки / Д. Г. Бутомо, Н. И. Зедин // *Цветные металлы*, –1960. – № 3. – С. 62–68.

References

1, Nikolaev, A,K, Alloys for contact welding electrodes / A,K, Nikolaev, V,M, Rosenberg, - M, : Metallurgy, 1978, - 96 p,

2, Nikolaev, A,K, Chrome bronzes / A,K, Nikolaev, A,I, Novikov, V,M, Rosenberg, - M,: Metallurgy, 1983, - 175 p,

3, Novikov, I,I, Theory of heat treatment / I,I, Novikov, - M,: Metallurgy, 1978, - 392 p,

4, Krushenko, G, G, Improving the quality of cast iron castings with the help of nanopowders / Krushenko G, G., Yamskikh I, S., Bonchenkov A, S, // *Metallurgy of mechanical engineering*, - 2002, – No, 2, – pp, 20-21,

- 5, Cherepanov, A, N, The use of ultrafine powders to improve the properties of metals and alloys / A, P, Cherepanov, V, A, Poluboyarov, A, P, Kalinina // Materials Science, - 2000, - No, 10, - pp, 45-53,
- 6, Tsivirko, E, I, Modification with Ti(C N) nanoparticles of castings of parts from the LC3DK-VI alloy with a reduced carbon content /E, I, Tsivirko, N, A, Lysenko, V, V, Klachikhin // East European Journal of Advanced Technologies, - 2010, - No, 3, - pp, 42-44,
- 7, Lovshenko, G, F, Improving the efficiency of modifying gray cast iron by introducing a carbon modifier into the composition / G, F, Lovshenko, O, S, Komarov, N, I, Urbanovich // Casting and metallurgy, - 2010, - No, 3, - pp, 47-50,
- 8, Zykova, A, P, The effect of modification of refractory metal oxides and cryolite with ultrafine powders on the structure, mechanical properties and destruction of cast iron SCH 25 / A, P, Zykova, D, V, Lychagin, A, V, Chumaevsky // Izv, universities, Ferrous metallurgy, - 2014, - No, 11, - pp, 37-42,
- 9, Kalinichenko, A, S, Prospects of using nanoscale powders to obtain modifying ligatures / A, S, Kalinichenko, A, G, Slutsky, V, A, Shainert // Casting and metallurgy, - 2015, - No, 1, - pp, 65-73,
- 10, Kalinichenko, A, S, The use of a modifying ligature containing nanodisperse powders of active elements in the production of high-strength cast iron with spherical graphite / A, S, Kalinichenko, A, G, Slutsky, V, A, Shainert // Casting and metallurgy - 2015, - No, 3, - p, 101 - 106,
- 11, Komarov, O, S, Nanoscale and ultrafine particles in foundry technologies / O, S., Komarov V, I, Volosatikov, I, B, Provorova // Casting and metallurgy, - 2014, - No, 2, - pp, 42-46,
- 12, Marukovich, E, I, Modification of alloys / E, I, Marukovich, V, Yu, Stetsenko, - Ministry of Finance: Belarusskayanavuka, 2009, - 217 p,
- 13, Lovshenko, G, F, Nanostructured mechanically alloyed materials based on metals: monograph / G, F, Lovshenko, F, G, Lovshenko B, B, Khina; edited by Dr, of Technical Sciences, Prof, F, G, Lovshenko, Mogilev :Byelorus,-Russian University, 2008, - 679 p ,
- 14, Thermodynamic modeling of heterogeneous interaction during mechanical alloying in copper-based systems / F, G, Lovshenko [et al.], // Bulletin of the Belarusian-Russian University, - 2012, - No, 1, - pp, 23-34,
- 15, Lovshenko, F, G, Scientific principles of creating highly resistant chrome bronzes for electrical purposes using technology combining reactive mechanical alloying and casting / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, I, A,
- 16, Lovshenko F, G, Cast chrome-containing bronzes obtained using mechanically alloyed ligatures / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, I, A, Lozikov // Casting and metallurgy, - 2012, No, 3, - pp, 131-135,
- 17, Lovshenko, F, G, Bronzes of electrotechnical purpose and features of their production / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, I, A, Lozikov // Bulletin of the Belarusian-Russian University, - 2012, - No, 3, - pp, 36-52,
- 18, Lovshenko F, G, Obtaining mechanically alloyed nanostructured modifying ligatures for the production of high-strength submicrocrystalline bronzes for electrical purposes / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, I, A, Lozikov // Casting and metallurgy, - 2013, - No, 2, - pp, 115-126,
- 19, Lovshenko, F, G, Mechanically alloyed modifying ligatures for the production of high-strength bronzes for electrical purposes / F, G, Lovshenko, N, N, Lovshenko, I, A, Lozikov // Materials of the 33rd International Conference, "Composite materials in industry" (June 1-5),/ UIC "Science, Technic,
- 20, Lovshenko F, G, Modeling of ligature dissolution in copper melt during the smelting of chrome bronzes and optimization of their production process / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, B, B, Khina, I, A, Lozikov // Casting and metallurgy, - 2013, No, 4, - pp, 125-133,
- 21, Lovshenko, F, G, Patterns of formation of mechanically alloyed granular ligatures of the copper-chromium system / F, G, Lovshenko, G, F, Lovshenko, I, A, Lozikov // Bulletin of the Belarusian-Russian University, - 2014, - No, 2, - pp, 37-48,
- 22, Butomo, D, G, Change in the solubility of chromium in chrome bronze grade BrH0,5 depending on heat treatment / D, G, Butomo, N, I, Zedin // Non-ferrous metals, -1960, -No, 3, - pp, 62-68,

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ДЕТАЛИ МАШИН»

С. В. Монтик, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: svmontik@mail.ru

Реферат

Подготовка инженеров в области технологии машиностроения, технической эксплуатации автомобилей, обладающих знаниями, умениями и навыками, которые соответствуют современному уровню развития науки и техники и будут востребованы на рынке труда, является актуальной задачей.

В статье рассмотрены инновационные подходы при преподавании учебной дисциплины «Детали машин», которые реализованы на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета.

С целью автоматизации процесса проектирования и расчета, разработки трехмерных моделей и рабочих чертежей зубчатых передач предлагается использовать российскую импортонезависимую систему трехмерного проектирования КОМПАС-3D V21 ООО «АСКОН – Системы проектирования» с приложениями «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D», в состав которых входит модуль КОМПАС-GEARS.

В учебном процессе предложено применять упрощенную методику для проектирования и расчета зубчатых передач, в которой обеспечивается независимость расчетных формул от системы единиц физических величин. В данной методике также учитывается рекомендация, что при учебном проектировании в расчетных зависимостях на прочность для цилиндрических передач не следует выносить из-под знака радикала приведенный модуль упругости материалов контактируемых зубьев шестерни и колеса. Для реализации данного подхода разработана и внедрена в учебный процесс прикладная на базе табличного процессора Microsoft Excel.

Также внедрена в учебный процесс и при проведении практических занятий и курсового проектирования по дисциплине «Детали машин» используется методика расчета модифицированного ресурса подшипников в соответствии с ГОСТ 18855-2013,

Ключевые слова: инновационный подход, детали машин, учебная дисциплина, программное обеспечение, методика, зубчатые цилиндрические передачи, модифицированный ресурс подшипника,

INNOVATIVE APPROACH TO TEACHING THE SUBJECT "MACHINE PARTS"

S. V. Montik

Abstract

Training engineers in the field of mechanical engineering technology, technical operation of cars, who will be in demand in the labor market and who have

knowledge, skills and abilities that correspond to the modern level of development of science and technology, is an urgent task.

The article considers innovative approaches to teaching the academic discipline "Machine Parts", which are implemented at the Department of Mechanical Engineering and Car Operation of Brest State Technical University.

In order to automate the process of design and calculation, development of three-dimensional models and working drawings of gears, it is proposed to use the Russian import-independent three-dimensional design system KOMPAS-3D V21 LLC "ASCON - Design Systems" with the applications "Shafts and Mechanical Transmissions 3D", "Shafts and Mechanical Transmissions 2D", which include the KOMPAS-GEARS module.

In the educational process, it is proposed to use a simplified methodology for the design and calculation of gears, which ensures the independence of calculation formulas from the system of units of physical quantities. This methodology also takes into account the recommendation that in the course of educational design, the reduced modulus of elasticity of the materials of the contacting teeth of the gear and wheel should not be taken out from under the radical sign in the calculated strength dependencies for cylindrical gears. To implement this approach, an application based on the Microsoft Excel spreadsheet processor has been developed and implemented in the educational process.

A methodology for calculating the modified life of bearings in accordance with GOST 18855-2013 has also been implemented in the educational process and is used in practical classes and course design for the discipline "Machine Parts".

Keywords: innovative approach, machine parts, academic discipline, software, methodology, cylindrical gears, modified life of a bearing.

Введение

Учебная дисциплина «Детали машин» – это научная дисциплина по теории, расчету и конструированию деталей и узлов общемашиностроительного применения. Необходимость повышения производительности, быстроходности и надежности машин при уменьшении их массы и создание машин новых поколений требует непрерывного углубления теории и уточнения расчетов деталей и узлов машин. Рассмотрим, как это реализуется в учебном процессе при проектировании цилиндрических зубчатых передач и расчете подшипников на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Применение инновационного подхода при проектировании и расчете элементов привода при преподавании учебной дисциплины «Детали машин».

Цилиндрические зубчатые передачи широко используются в различных приводах машин, оборудования, оснастки и приборов благодаря своей простоте и технологичности, малым габаритам, высокому КПД, постоянству передаточного отношения, возможности применения в широком диапазоне вращающих моментов, скоростей и передаточных отношений, надежности. Около 80 % от общего числа зубчатых передач в машиностроении приходится на эвольвентные цилиндрические передачи. В связи с этим возникает задача проектирования зубчатых цилиндрических передач, которые удовлетворяют требованиям

повышенной прочности, долговечности, износостойкости и плавности работы. При проектировании зубчатых передач необходимо обеспечить расчет их геометрических и прочностных параметров в соответствии с действующими стандартами (ГОСТ 16532-70 [1] и ГОСТ 21354-87 [2]), а также разработку рабочих чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД.

С целью автоматизации процесса проектирования и расчета, разработки трехмерных моделей и рабочих чертежей зубчатых передач рассмотрим возможность применения такого современного программного обеспечения (ПО) как российская импортонезависимая система трехмерного проектирования КОМПАС-3D V21 ООО «АСКОН – Системы проектирования» с приложениями «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D», в состав которых входит модуль КОМПАС-GEARS. Система КОМПАС-3D представляет собой САД-систему с некоторыми возможностями и средствами САЕ и САМ-систем.

Модуль расчета механических передач КОМПАС-GEARS позволяет выполнять расчет зубчатых цилиндрических эвольвентных передач с постоянным передаточным отношением. Необходимо последовательно выполнять геометрический расчет, расчет на прочность и расчет на выносливость, а также проектный и восстановительный расчет.

При выполнении проектного расчета определяются параметры зубчатой передачи в зависимости от заданных условий ее работы, Проектный расчет возможен по заданному межосевому расстоянию и передаточному отношению, а также по числам зубьев передачи,

Использование первого варианта возможно при проектировании редукторов общемашиностроительного назначения, для которых задаются стандартные значения межосевых расстояний и передаточных отношений.

Расчет по числам зубьев передачи возможно использовать при проектировании коробок скоростей, привода подач, когда первоначально определяется передаточное отношение числа зубьев, а затем выполняется прочностной расчет зубчатой передачи. Расчет осуществляется методом дискретного поиска. В результате будут предложены до 15 вариантов параметров передачи, обеспечивающих прочность и планируемый ресурс работы при заданной циклограмме нагружения, заданном материале и наложенных геометрических ограничениях. В дальнейшем для выбранного варианта последовательно выполняются геометрический расчет, расчет на прочность и долговечность, а также создание 3D модели зубчатых колес, рабочих чертежей зубчатых колес с таблицей с параметрами по ГОСТ 2.403-75.

Геометрический расчет зубчатой передачи возможен для следующих вариантов: по межосевому расстоянию (по заданному межосевому расстоянию a_w определяется суммарный коэффициент смещения x_Σ , значение которого разбивается на x_1 и x_2); по коэффициентам смещения x_1 и x_2 (по коэффициентам смещения x_1 и x_2 определяется межосевое расстояние a_w ; начальные значения коэффициентов смещения можно задать в соответствии с рекомендациями ГОСТ 16532-70 либо рассчитать при помощи специальной методики).

После выполнения геометрического расчета необходимо выполнить расчет на прочность при действии максимальной нагрузки (задается крутящий момент

и частота вращения). После выполнения расчета на прочность выполняется расчет на долговечность, для которого задается планируемый ресурс работы передачи (в часах) и режимы нагружения в виде циклограммы: крутящий момент – частота вращения для ведущего колеса, продолжительности работы на каждом режиме.

Проведенный анализ приложений «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D» системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D V21 показал широкие возможности для выполнения проектных расчетов, а также геометрических и прочностных расчетов зубчатых цилиндрических передач в соответствии с действующими стандартами, а также разработки 3D-моделей и рабочих чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД. Это позволяет применять данное ПО в учебном процессе при изучении учебной дисциплины «Детали машин» и выполнении курсового проекта по данной дисциплине у студентов механических специальностей.

Однако нужно отметить, что в рассмотренных выше приложениях не предусмотрено выполнение проектировочных расчетов на контактную выносливость для определения ориентировочного диаметра начальной окружности шестерни или межосевого расстояния передачи, а также проектировочных расчетов на выносливость зубьев при изгибе для определения ориентировочного значения модуля по методикам, изложенным в ГОСТ 21354-87 [3].

При выполнении проектировочных расчетов не всегда возможно задать циклограмму работы передачи. В ряде случаев удобно использовать типовые режимы нагружения, однако возможности ввода режимов нагружения в таком виде не предусмотрено [3].

Для устранения указанных выше недостатков на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета была разработана методика упрощенного расчета зубчатых цилиндрических передач [4] и соответствующее программное обеспечение на базе табличного процессора Microsoft Excel, что позволяет студентам более глубоко уяснить сущность выполняемых расчетов и лучше изучить методику расчета зубчатых передач, работающих в закрытых корпусах.

Особенностью данной методички расчета является следующее. В ГОСТ 21354-87 [2] приводятся формулы с разными единицами одинаковых физических величин, в результате чего не соблюдаются правила независимости расчетных формул от системы единиц физических величин. По этой причине такие расчетные зависимости нецелесообразно использовать в учебном процессе [4].

ГОСТ 21354-87 рекомендует начинать проектный расчет эвольвентных цилиндрических зубчатых передач с ориентировочного определения диаметра начальной окружности шестерни d_{w1} (мм) или межосевого расстояния a_w (мм)

$$d_{w1} = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta} (u-1)}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u^2}} \quad (1)$$

$$a_w = K_d (u+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta}}{\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u^2}}, \quad (2)$$

где K_d и K_a – вспомогательные коэффициенты: для прямозубых передач $K_d = 770$, $K_a = 495$; для косозубых и шевронных передач $K_d = 675$, $K_a = 430$; T_2 – вращающий момент на колесе рассчитываемой зубчатой пары, Н·м; $K_{H\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки; u – передаточное число; $\psi_{ba} = \frac{b_w}{d_{w1}}$, $\psi_{ba} = \frac{b_w}{a_w}$, коэффициент рабочей ширины передачи b_w относительно соответственно межосевого расстояния a_w или начального диаметра шестерни d_{w1} ; $[\sigma_H]$ – допускаемые контактные напряжения для зубчатой пары в сборе, МПа.

В формулах (1) и (2) разные единицы физических величин: T_2 в Н·м, d_{w1} и a_w – в мм, $[\sigma_H]$ – в МПа.

С методической точки зрения при учебном проектировании не следует в расчетных зависимостях на прочность для цилиндрических передач выносить из-под знака радикала приведенный модуль упругости материалов контактируемых зубьев шестерни и колеса [4].

Поэтому при проектном расчете цилиндрических прямозубых зубчатых передач внешнего зацепления межосевое расстояние a_w (мм) рекомендуется определять по формуле

$$a_w = (0,82 \dots 0,87) \cdot (u + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{np} T_2 K_{H\beta} K_A}{\psi_{ba} u^2 [\sigma_H]^2}} \quad (3)$$

При проверочном расчете этих передач на сопротивление контактной усталости активных поверхностей зубьев для определения расчетных контактных напряжений σ_H (МПа) в полюсе зацепления предлагается формула [4]

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{Hu} K_A (u + 1)}{b_w d_{w1} u}} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4): T_2 – в Н·мм; F_t – окружная сила в зацеплении, Н ($F_t = \frac{2T_2}{d_{w2}}$ или $F_t = \frac{2T_1}{d_{w1}}$); K_{Hu} – коэффициент, учитывающий внутреннюю динамическую нагрузку в зацеплении; K_A – коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку; b_w и d_{w1} – в мм.

Для цилиндрических косозубых зубчатых передач формулы для определения a_w и σ_H имеют вид

$$a_w = (0,74 \dots 0,76) \cdot (u + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{np} T_2 K_{H\beta} K_A}{\psi_{ba} u^2 [\sigma_H]^2}} \quad (5)$$

$$\sigma_H = Z_{H\beta} \cdot \sqrt{\frac{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{Hu} K_A (u + 1)}{b_w d_{w1} u}} \quad (6)$$

где $Z_{H\beta}$ – коэффициент повышения нагрузочной способности косозубой зубчатой передачи в сравнении с прямозубой зубчатой передачей ($Z_{H\beta} < 1$) [4].

При учебном курсовом проектировании в формулах (4) и (6) рекомендуется принимать $d_{w1} = d_1$, как для зубчатых передач, выполненных без смещения инструмента, так и со смещением.

Расчет цилиндрических зубчатых передач на сопротивление усталости зубьев при изгибе проводят отдельно для шестерни 1 и колеса 2 по условию [4]

$$\sigma_{F1(2)} = \frac{F_t K_{F\beta} K_{F\alpha} K_A Y_{FS1(2)} Y_{F\beta}}{b_{1(2)} m_n}, \quad (7)$$

где $Y_{FS1(2)}$ – коэффициент, учитывающий форму зуба и концентрацию напряжений, $Y_{F\beta}$ коэффициент повышения прочности косозубой передачи по напряжениям изгиба в сравнении с прямозубой передачей (для косозубой передачи $Y_{F\beta} < 1$, для прямозубой – $Y_{F\beta} = 1$).

Для реализации данной методики была разработана прикладная программа на базе табличного процессора MS Excel, которая позволяет выполнять прочностной проект и проверочный расчеты, а также геометрический расчет цилиндрических зубчатых передач в соответствии с методическим пособием к курсовому проектированию по дисциплине «Детали машин» [5]. При выполнении проектирования передач в данной программе студент вводит свои исходные данные, самостоятельно выбирает в соответствии с рекомендациями материал и термообработку деталей передачи, необходимые поправочные коэффициенты, при этом происходит автоматический пересчет данных. Это сокращает время выполнения курсового проекта и повышает его качество.

В учебном процессе при изучении дисциплины «Детали машин» реализован также современный подход при расчете подшипников на долговечность.

Номинальный ресурс подшипников может значительно отличаться от реального срока их службы в определенных условиях эксплуатации. Фактический срок службы подшипника зависит от условий смазывания, степени загрязнённости, правильности монтажа.

Для учета данных факторов в стандарте ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) [6] определяется модифицированный ресурс подшипников

$$L_{nm} = a_1 a_{ISO} L_{10}, \quad (8)$$

где a_1 – коэффициент модификации ресурса по вероятности безотказной работы; a_{ISO} – системный коэффициент модификации ресурса; L_{10} – номинальный ресурс подшипника, миллион оборотов.

Системный коэффициент модификации ресурса a_{ISO} учитывает следующие факторы: тип подшипника; предел усталостной нагрузки C_u ; эквивалентную динамическую нагрузку подшипника P ; условия смазки (тип смазочного материала, вязкость, частота вращения подшипника, размер подшипника, присадки); влияние окружающей среды (уровень загрязнения, уплотнения); параметры частиц загрязняющего вещества (твердость и размер частиц по отношению к размеру подшипника, метод смазывания, фильтрация); качество монтажа (соблюдение чистоты во время монтажа, например, тщательная промывка узла, фильтрация поставляемого масла).

Коэффициент a_{ISO} можно выразить в виде функции

$$a_{ISO} = f\left(\frac{e_c C_u}{p}; k\right), \quad (9)$$

$$k = v/v_1, \quad (10)$$

где e_c – коэффициент загрязнения; k – относительная вязкость; v – фактическая кинематическая вязкость при рабочей температуре, ; v_1 – номинальная кинематическая вязкость, необходимая для достижения надлежащих условий смазки,.

При расчете предела усталостной нагрузки C_u учитывается влияние следующих факторов: тип, размер и внутреннюю геометрию подшипника; профиль тел качения и дорожек качения; качество изготовления; предел усталостного напряжения материала дорожек качения, Некоторые мировые производители подшипников, например шведская фирма SKF, в каталоге подшипников указывают предел усталостной прочности для конкретного типоразмера подшипника [7].

В ГОСТ 18855-2013 [6] приводятся усовершенствованный и упрощенный метод расчета предела усталостной нагрузки C_u , а также методы расчета коэффициента загрязнений, относительной вязкости k и коэффициента модификации ресурса a_{ISO} . На практике коэффициент модификации ресурса следует ограничить $a_{ISO} \leq 50$.

Ранее в соответствии с ГОСТ 18855-94 вместо понятия модифицированного ресурса использовался скорректированный расчетный ресурс [7]

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10}, \quad (11)$$

где a_2 – коэффициент, корректирующий ресурс в зависимости от особых свойств материала и (или) конструкции подшипника; a_3 – коэффициент режима смазки, корректирующий ресурс в зависимости от условий работы подшипника. В связи с тем, что коэффициенты a_2 и a_3 взаимосвязаны, в расчетах было принято использовать их произведение – коэффициент a_{23} [7]

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10}. \quad (12)$$

Для расчета модифицированного ресурса подшипников по ГОСТ 18855-2013 была разработана прикладная программа на базе MS Excel.

Проведенные расчеты показали, что за счет использования системного коэффициента модификации ресурса a_{ISO} , учитывающего загрязнение и условия смазки, модифицированный ресурс подшипника при тех же условиях работы оказывается в 1,37 раза больше, чем при использовании формулы (12) (расчет выполнялся для конического однорядного подшипника по ГОСТ 27365-87), что позволяет использовать подшипники более легких размерные серий [7].

Методика расчета модифицированного ресурса подшипников внедрена в учебный процесс и используется при проведении практических занятий и курсового проектирования по дисциплине «Детали машин» у студентов специальностей

1-37 01 06 Техническая эксплуатация автомобилей, 1-37 01 07 Автосервис, 1-36 01 01 Технология машиностроения. Сложность в применении данной методики заключается в отсутствии достоверных данных о коэффициенте загрязнений для конкретных условий работы подшипников.

Заключение

Для качественной подготовки инженерных кадров, которые будут востребованы на рынке труда, необходимо использовать в учебном процессе современные достижения науки и техники, внедрять инновационные подходы при преподавании. Проведенный выше анализ показал, как это реализуется на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета на примере преподавания дисциплины «Детали машин».

Список цитированных источников

1. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии : ГОСТ 16532-70. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 41 с.
2. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность : ГОСТ 21354-87. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 127 с.
3. Монтик, С. В. Применение современного программного обеспечения для расчета зубчатых цилиндрических передач / С. В. Монтик // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сб. ст. / Брестский гос. технич. ун-тет. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2023. – С. 92–96.
4. Санюкевич, Ф. М. Расчет эвольвентных зубчатых передач при курсовом проектировании деталей машин / Ф. М. Санюкевич, С. В. Монтик // Вестн. Брестского гос. технич. ун-та. Серия : Машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 47–49.
5. Методическое пособие к курсовому проектированию по дисциплине "Детали машин" для студентов технических специальностей : в 3 ч. / Мин-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. технич. ун-т, каф. машиностроение и эксплуатация автомобилей ; сост. : С. В. Монтик [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. 1. – 43 с.
6. Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс : ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007, MOD). – Взамен ГОСТ 18855-94 ; введ. 01.08.2016. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2016. – V. 49.
7. Монтик, С. В. Особенности расчета модифицированного ресурса подшипников качения / С. В. Монтик // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 55-летию Брестского гос. технич. ун-та, Брест, 29–30 сент. 2021 г. / Брестский гос. технич. ун-т ; редкол. : С. Р. Онысько [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 170–174.

References

1. Peredachi zubchatye cilindricheskie jevol'ventnye vneshnego zacepleniya, Raschet geometrii : GOST 16532-70. – M. : Izd-vostandardov, 1983, – 41 s.
2. Peredachi zubchatye cilindricheskie jevol'ventnye vneshnego zacepleniya, Raschet naprochnost' : GOST 21354-87. – M. : Izd-vostandardov, 1988, – 127 s.
3. Montik, S. V. Primenenie sovremennogo programmnoho obespechenij adlja rascheta zubchatyh cilindricheskih peredach / S. V. Montik // Novyetechnologii i materialy, avtomatizacija proizvodstva: sbornikstatej / Brestskij gosudarstvennyj tehničeskij universite. – Brest : Izdatel'stvo BrGTU, 2023. – S. 92–96.
4. Sanjukevich, F. M. Raschetje vol'ventnyh zubchatyh peredach pri kursovom proektirovanii detalej mashin / F. M. Sanjukevich, S. V. Montik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Mashinostroenie. – 2014. – № 4. – S. 47–49.
5. Metodicheskoe posobie k kursovomu proektirovaniju po discipline "Detali mashin" dlja studentov tehničeskikh special'nostej : v 3 chastjah / Ministerstvo obrazovanija Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet. kafedra "Mashinostroenie i jekspluatacija avtomobilej"; sost.: S. V. Montik [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2022. – Chast' 1. – 43 s.

6. GOST 18855-2013 (ISO 281:2007. MOD), Podshipniki kachenija, Dinamicheskaja gruzo-pod#emnost' i nominal'nyj resurs. – Vzamen GOST 18855-94 ;vved. 01.08.2016. – Minsk : Goss-tandart : BelGISS, 2016. – V. 49.

7, Montik, S. V. Osobennosti rascheta modificirovannogo resursa podshipnikov kachenija / S. V. Montik // Novye tehnologii i materialy, avtomatizacija proizvodstva : sb. st. mezhdunar. nauch.-tehn. konf., posvjashh. 55-letiju Brest. gos. tehn. un-ta, Brest, 29–30 sent. 2021 g. / Brest. gos. tehn. un-t ; redkol.: S. R. Onys'ko [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2021. – S. 170–174.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ПУТЕМ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

Ш. Худайбердиев, преподаватель, Государственный энергетический институт, Мары, Туркменистан

С. Батыров, преподаватель, Государственный энергетический институт, Мары, Туркменистан

Б. Чарыяров, преподаватель, Государственный энергетический институт, Мары, Туркменистан

Г. Гылычгельдиев, преподаватель, Государственный энергетический институт, Мары, Туркменистан

Реферат

В данной работе разработана технология извлечения искусственных волокон из основных отходов пластмасс. На основе разработанной технологии был сконструирован комплекс оборудования для производства. Изучена технология извлечения искусственного волокна из отходов пластмасс. Производство искусственного волокна из отходов пластика поможет защитить экологическое благополучие от загрязнения морей и океанов, и создать мирную среду для живых существ.

Ключевые слова: пластика, технология, атмосфера, отходы, оборудования, полипропилен, нагрузка, искусственные волокна, экология.

TECHNOLOGY FOR PRODUCING SYNTHETIC FIBER BY RECYCLING PLASTIC WASTE

Annotation

In this project the technology of extracting artificial fibers from the main waste plastic materials has been developed. Based on the developed technology, a set of equipment for production was constructed. The technology of artificial fiber extraction from waste plastics was studied. Artificial fiber production from waste plastics will help protect the ecological well-being, that is, the pollution of the seas and oceans, and create a peaceful environment for living things.

Keywords: plastic, technology, atmosphere, waste, equipment, polypropylene, load, artificial fibers, ecology.

Сохранение природного богатства и красоты нашей любимой Родины и передача их будущим поколениям – одно из главных направлений государственной политики нашего Президента. Национальная программа охраны природы

основывается на комплексном решении задач, поставленных в экономической, социальной и экологической системах, что является важным условием благополучной жизни людей.

Принята и реализуется «Программа Президента Туркменистана социально-экономического развития страны на 2019–2025 годы». Согласно этой программе, в стране увеличивается количество производимой продукции, в том числе изделий из пластмассы. Это объясняется тем, что преимуществ у изделий из полимеров больше, чем у других товаров. Это изделие гибкое, прочное, удобное для транспортировки, гладкое, диэлектрическое, устойчивое к внешним воздействиям и другим факторам, поэтому количество пластиковых отходов довольно велико. Некоторые виды пластика используются в повседневной жизни для кратковременного применения в продуктах питания и различных емкостях для напитков. Пластик обладает высокой устойчивостью к растрескиванию. В естественных условиях пластику требуется около 100–400 лет, чтобы раствориться в природе и при горении не выделять вредные (токсичные) вещества, поэтому утилизация пластика неоспорима. Если не перерабатывать этот синтетический продукт, то весь его объем попадает в окружающую среду, загрязняя атмосферный воздух, почву и грунтовые воды.

Согласно полученным данным, существует в общей сложности пять видов пластикового мусора, известного как «мусорное пятно». В Тихом океане (два), Атлантическом океане (два) и в Индийском океане (один). Поэтому необходимо перерабатывать и утилизировать отходы. Это большой вклад в поддержание чистоты окружающей среды. Утилизация и переработка пластика являются одними из наиболее эффективных способов решения этой проблемы. Производство изделий из вторичного сырья не только снижает нагрузку на окружающую среду, но и является экономически выгодным.

Согласно последним исследованиям, ежегодно в мире производится около 380 миллионов тонн пластика. С 1950 по 2018 гг. в мире было произведено около 6,3 миллиардов тонн пластика, Около 9 % из них перерабатывается, а остальные 12 % сжигаются. Огромное количество пластиковых отходов наносит вред окружающей среде; исследования показывают, что 90 % морских птиц содержат в своем теле пластиковые отходы. В ближайшее время количество производимого в мире пластика может превысить биомассу всех сухопутных и морских животных. По прогнозам некоторых исследователей, к 2050 году в океанах может содержаться пластиковых отходов по весу больше, чем рыбы.

Пластик – это органический материал. Его синтезируют из базовых полимеров, таких как сырая нефть, природный газ и уголь. Состав его – органические или синтетические полимеры, включая наполнители, пластификаторы, антиоксиданты, красители. Пластмассы состоят из следующих элементов: углерод (C), водород (H), кислород (O), азот (N), сера (S) и кремний (Si).

Широко используемые пластмассы называются следующим образом:

- полиэтилен (ПЭ);
- полипропилен (PP);
- полистирол (PS);
- поливинилхлорид (ПВС);
- полиамид (ПА);

- поликарбонат (РС);
- полиуретан (PU).

Пластмасса является широко используемым материалом в современном мире, она наиболее применяема в качестве упаковочных материалов, но также используется в широком спектре других отраслей (потребительские товары, текстиль, строительство, транспорт, медицина, сельское хозяйство и т. д.). Однако популярность и широкая распространенность пластика способствуют возникновению серьезных проблем, связанных с загрязнением окружающей среды.

Для решения проблемы пластикового загрязнения необходим комплексный подход, который включает в себя следующие меры: повышение осведомленности общественности о проблеме пластикового загрязнения и важности утилизации отходов; внедрение запретов на использование одноразовых пластиковых изделий; поддержка и развитие альтернативных материалов и упаковок, которые более экологически безопасны; стимулирование переработки пластика и развитие технологий по его утилизации.

Большинство полимерных материалов, не подверженные биологическому разложению, могут быть переработаны механическим и химическим методами.

Механическая переработка – это дробление и измельчение неразлагающихся полимеров на частицы меньшего размера. Этот процесс облегчает дальнейшую обработку и увеличивает поверхностный объем материала для последующей химической переработки. Дробление и измельчение могут быть выполнены с помощью специализированного оборудования, такого как дробилки, грануляторы и шредеры. Отходы пластика сначала сортируют, очищают, моют, сушат, хранят, а затем перерабатывают. Недавние исследования показали, что под воздействием солнца, дождя и других факторов окружающей среды токсичные химические вещества, такие как дифенил А, разрушаются в пластиковых отходах быстрее, чем считалось ранее. В пластике содержится много органических загрязнителей, поэтому ученые утверждают, что пластик оказывает большое влияние на рост водорослей в морях и реках. Была разработана технология переработки отходов пластмасс, используемых человеком, для получения нового продукта – искусственного синтетического волокна (синтепона). Цель этой технологии – использовать отходы пластмасс в качестве сырья и получать из них синтетическое волокно, которое является необходимым сырьем для текстильной отрасли или смежных предприятий, в том числе для производства одежды в стране. Разумеется, этот материал является синтетическим. Одним из самых популярных материалов, используемых для утепления, является синтетическое волокно. Синтетическое волокно называют нетканым материалом. Часто можно получить материал, состоящий из нескольких слоев тонкой полиэфирной пряжи с добавлением хлопка или шерсти.

При термоскреплении волокна соединяются под воздействием высокой температуры и образуют плотную ткань, которая защищает от холода и не деформируется при стирке. Это волокно легче обычных волокон и быстро восстанавливается после стирки. Оно не впитывает и не удерживает влагу и не выделяет неприятного запаха. В отличие от некоторых видов волокон, синтетические волокна не вызывают аллергии и безопасны для здоровья человека. Данное волокно, как ожидается, будет более выгодным по сравнению с другими волокнами по всем параметрам. Это волокно отличается мягкостью, не впитывает

жидкость, эластичностью, хорошей теплоизоляцией и низкой стоимостью. Многоцелевое волокно используется во многих областях при производстве мягкой мебели, декоративных изделий, мягких игрушек и т. д. Оно широко используется в качестве фильтрующего материала, особенно в аквариумах. Оно также может использоваться в качестве сырья в смежных отраслях промышленности. Для получения синтетического волокна была разработана технология производства, состоящая из нескольких этапов. Сначала создается запас отработанных пластмасс. Затем пластики подвергались физической очистке. На втором этапе было изготовлено простое скребковое устройство (двигатель мощностью 3 кВт, редуктор и 2 направленно ориентированных скребка из материала сталь 40).

Площадь производимого устройства составляет в среднем 1 квадратный метр, при этом оно потребляет меньше электроэнергии. На третьем этапе было подготовлено оборудование для плавления и переработки собранных отходов пластика в волокно. Устройство изготовлено из жаропрочной стали, в центр которого встроена конусообразная камера для заливки полипропилена или отходов пластика, а внутри размещены 4 нагревательных элемента. Эта часть устройства выполняет функцию печи. Антенны, подключенные к вентилятору, были установлены на левом крыле опорного терминала с помощью токопроводящих проводов. Здесь же установлен контроллер устройства (оболочка), изготовленный из термостойкого материала. В контроллере (выключателе) находится регулировка нагревательных элементов и дополнительный токоведущий кабель, подключенный к контроллеру (выключателю). С его помощью мы получаем общее электричество. С помощью этой части машины полипропилен плавится в фильтровальной печи. В качестве важной части технологии был установлен компрессор 2019 TCS2150502, 220-240V~50HZ с топливным приводом.



Рисунок 1 – Комплект оборудования для плавки битого пластика

Это устройство оснащено проволокой для пропускания воздуха на протяжении около пяти метров и клапаном из латуни специальной герметичной формы, который уменьшает объем воздуха, поступающего в устье. Таким образом, воздух из компрессора и жидкий полипропилен, капающий из фильтровальной печи, смягчаются под действием воздуха. В машине также установлен контейнер

для сбора волокон, который соединен со специальным опорным устройством для хранения подготовленных волокон. Этот контейнер также является термостойким, что способствует скреплению волокон между собой.

В результате эксперимента было установлено, что пластиковые отходы имеют разный состав и свойства в зависимости от их типа. Выяснилось, что можно разработать технологию получения искусственных волокон из основных отходов пластика. На основе разработанной технологии была создана серия производственного оборудования. Исследована технология получения искусственного волокна из отходов пластмасс. Производство искусственного волокна из отходов пластмасс позволит сохранить экологическое благополучие, то есть противостоять загрязнению морей и океанов и создать условия для мирного существования живых существ.

Список цитированных источников

1. Букавнева, А. А. Анализ состояния проблемы переработки пластмасс / А. А. Букавнева. – 2024.
2. Косинцев, В. И. Вариант решения проблемы переработки полимерных отходов / В. И. Косинцев [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 8. – С. 64–65.
3. Гоголь, Э. В. Устройство для переработки пластмасс / Э. В. Гоголь, И. Х. Мингазетдинов // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT. – 2015. – С. 51–55.
4. Кирин, Б. С. Современные технологии разделения отходов пластмасс / Б. С. Кирин, А. Н. Клокова // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28. – №. 3 (152). – С. 31–33.

References

1. Букавнева, А. А. Анализ состояния проблемы переработки пластмасс / А. А. Букавнева. – 2024.
2. Косинцев, В. И. Вариант решения проблемы переработки полимерных отходов / В. И. Косинцев [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 8. – С. 64–65.
3. Гоголь, Э. В. Устройство для переработки пластмасс / Э. В. Гоголь, И. Х. Мингазетдинов // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT. – 2015. – С. 51–55.
4. Кирин, Б. С. Современные технологии разделения отходов пластмасс / Б. С. Кирин, А. Н. Клокова // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28. – №. 3 (152). – С. 31–33.

СЕКЦИЯ 2
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ

UDC 556.512

**A DYNAMIC-STOCHASTIC APPROACH TO THE DETERMINATION
OF THE OPTIMUM LEVEL FOR RESERVOIR FILLING**

*A. Z. Tairov, Candidate of Geological Sciences, Lead Research fellow, Institute
of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan, amra2005@list.ru*
*M. Leman, Research Fellow, Institute of Geography and Water Security.
PhD doctoral. Almaty, Kazakhstan, maxleman131@gmail.com*

Abstract

Possessing certain information and knowledge about the current hydrological state of a water body, it is possible to foresee the future state of the studied object and its main characteristics. On their basis it is possible to estimate the peculiarities of the given period and to carry out corresponding to these conditions the development of effective regimes of functioning of hydraulic structures with advance or mitigation of the onset of hydrological threats and risks.

The condition for optimal functioning of natural ecosystems is a close relationship between fluctuations in water levels and river and sea runoff - this is the specificity of the study of water bodies in the Aral Sea region.

The proposed work evaluates the reconstruction options for the Northern (Small) Aral Sea. To determine the quantitative characteristics of the parameters of the object under study (Northern Aral Sea - Saryshyganak Bay), the balance method was used by means of sequential solution of balance equations that allow indirectly assessing its dynamics, hydrological state and analysing the interrelationships of various components of the moisture balance.

Based on the dynamic-stochastic approach in solving the problems of determining the optimal level of filling of the retaining hydraulic structure, where in the balance calculations a temporary hydrological series ($n > 35$) made up of annual river inflow volumes by the method of statistical modelling (Monte Carlo method) is used, it can be concluded that out of two variants of the complex of considered engineering structures in the water area of the Northern Aral Sea, the most preferable is the variant of reconstruction of the NAS with the mark of the normal retaining level. The two-level variant of the reconstruction corresponds to the optimal parameters of the structure with a short period of filling of the bay 6–7 years, less water losses-up to 3,0 km³ and moderate the system water exchange processes.

Keywords: Aral Sea, water balance, dynamic-stochastic approach, hydraulic structure, reconstruction, reservoir.

ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

А. З. Таиров, М. Леман

Реферат

Обладая определенными сведениями и знаниями о текущем гидрологическом состоянии водного объекта, можно предвидеть будущее состояние изучаемого объекта и его основные характеристики. На их основе можно оценить особенности данного периода и провести соответствующую этим условиям разработку эффективных режимов функционирования гидротехнических сооружений с опережением или смягчением наступления гидрологических угроз и рисков.

Условием оптимального функционирования природных экосистем является тесная взаимосвязь колебания уровней воды и стока реки и моря – в этом заключается специфичность исследования водных объектов рассматриваемого региона.

В предлагаемой работе проведена оценка вариантов реконструкции Северного (Малого) Аральского моря (САМ). Для определения количественной характеристики параметров исследуемого объекта (Северное Аральское море – залив Сарышыганак) использован балансовый метод последовательного решения балансовых уравнений, позволяющих косвенным путем оценить его динамику, гидрологическое состояние и проанализировать взаимосвязи различных компонентов баланса влаги.

На основе динамико-стохастического подхода в решениях задач по определению оптимального уровня наполнения подпорного гидротехнического сооружения, где в балансовых расчетах использован временной гидрологический ряд ($n > 35$), составленный из годовых объемов речного притока методом статистического моделирования (метод Монте-Карло), можно заключить, что из двух вариантов комплекса рассматриваемых инженерных сооружений в акватории Северного Аральского моря наиболее предпочтительным является вариант реконструкции САМ с отметкой нормального подпорного горизонта (НПГ) – 50,00 м абс. Двухуровневый вариант реконструкции САМ соответствует оптимальным параметрам сооружения с коротким по времени периодом наполнения чаши залива – 6–7 лет, меньшими потерями воды – до 3,0 км³ и умеренными водообменными процессами системы.

Ключевые слова: Аральское море, водный баланс, динамико-стохастический подход, гидротехническое сооружение, реконструкция, залив Сарышыганак.

Introduction

The crisis of the Aral Sea region is typical and characteristic of many drainless basins of arid zones, which are highly sensitive to climate change and anthropogenic impact and, at the same time, are extremely vulnerable elements of the aquatic ecosystem [1]. Ignoring these principles in the previous development stages led to severe environmental consequences in the region.

The 'Basic Provisions of the Concept for Improving Socio-Economic and Environmental Condition in the Aral Sea Region' approved by the Heads of the five

Central Asian countries substantiates the preservation of the Aral Sea region by creating a new sustainable natural and anthropogenic complex on its territory.

Within the framework of the programme ‘Regulation of the Syrdarya river channel and preservation of the northern part of the Aral Sea (RSNASP-I), construction of the Kokaral dam in the former Berg Strait of the Aral Sea was completed in 2005. The construction of the hydraulic structure prevented the progressive lowering of the sea level and raised its level from 38,0 metres to $42,0 \pm 0,5$ metres abs. The area of the Aral Sea and the volume of water in it were fixed at more stable parameters (Figure 1).

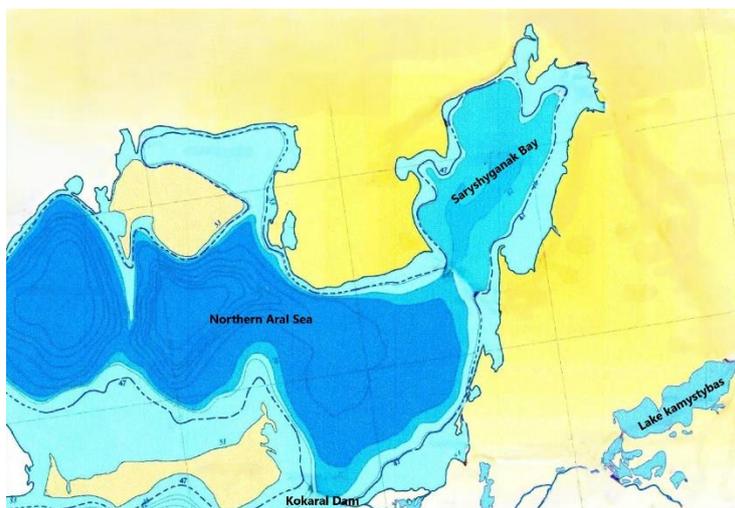


Figure 1 – Northern (Small) Aral Sea (NAS) and Saryshyanak Bay

In February 2012 the Ramsar Convention Secretariat included the ‘Small (North) Aral Sea and Syr Darya river Delta by total area of 330 thousand ha in the list of Ramsar sites as the most important wetlands of the planet - Important Bird and Biodiversity Area (IBA).

However, about half of the total surface water resources of Kazakhstan come from neighbouring countries [2]. The Aral-Syrdarya river basin is the most dependent on transboundary runoff, with almost 90 % of the basin's resources coming from this component. The volume of transboundary flow entering the Shardaara reservoir is determined by the operation mode of a whole cascade of reservoirs located in the upper reaches of the Syrdarya (Table 1).

Table 1 – Parameters of main reservoirs located in the Syrdarya river basin

Reservoir	Country	River	Volume	Year
Toktogul	Kyrgyzstan	Naryn	19,5	1975
Andijan	Uzbekistan	Karadarya	1,9	1978
Kayrakkum	Tajikistan	Syr Darya	4,2	1956
Charvak	Uzbekistan	Chirchik	2,0	1970
Shardara	Kazakhstan	Syr Darya	5,2	1965

According to the design operation regime of the Shardara reservoir, the highest flow rate is 1200 m³/s and the lowest is 220 m³/s in winter. During extremely high-water years, such as 1969, a significant part of the flow was discharged into the Arnasay depression (Uzbekistan).

Problem statement Measures to prevent environmental problems in the Aral Sea region have been taken since the middle of the last century. Thus, in 1989, a feasibility study was approved for the construction of engineering structures to restore water availability in the Saryshyanak Bay.

Within the framework of implementation of the second phase of RSNASP -II, reconstruction of the Northern (Small) Aral Sea (NAS), water area was planned, aimed at improvement and restoration of the Aral Sea water ecosystem. Two alternative variants of the NAS reconstruction were identified:

- two-level option – by restoring the former Saryshyanak bay as a water body;
- one-level variant with a single Northern Aral Sea – by building up the Kokaral dam.

Both reconstruction options have positive and negative sides, both in construction and operation of the engineering structure complex [3, 4]. However, at present there is no unanimous opinion regarding the choice of reconstruction options. This paper considers the issues of solving practical problems on determining the filling of the optimum water level of the proposed retaining hydraulic structure. To solve the set problem, the dynamic-stochastic approach is applied, which allows describing a real system with sufficient accuracy without experimentation on a real object and obtaining data for further statistical processing, as well as anticipating future changes in the filling regimes of lake-type water bodies. The results of studies in the field of hydrology show that the prevailing direction in the development of hydrological processes is the stochastic concept [5].

Research methodology Methods of hydrological and water management calculations, dynamic-stochastic approach, and computer data processing methods were applied.

Data sources Materials of expeditionary works on water bodies of Aral region, scientific and project materials and publications were used.

Main part Knowing regularities in water flow fluctuations or possessing certain information about the current state of water availability, it is possible to foresee the future state of the studied object and its main characteristics. On their basis it is possible to estimate features of the given period and to carry out corresponding to these conditions development of effective modes of functioning of hydraulic structures with advance or mitigation of occurrence of hydrological threats and risks.

In the proposed work, the assessment of options for reconstruction of the NAS is carried out. To determine the quantitative characteristics of the object under study (Northern Aral Sea – Saryshyanak Bay), the balance method was used by means of sequential solution of balance equations, which allow indirectly assessing its dynamics, as well as identifying and analysing the interrelationships of various components of the moisture balance.

The balance equation for some time interval Δt is as follows

$$Q + X - E = \pm \Delta W, \quad (1)$$

where Q – river runoff; X – precipitation; E – evaporation from the water surface; ΔW – change in water volume over the same time period.

It follows from the equation that if the inflow part of the balance is less than the outflow part $Q + X < E$, the water volume in the water body will decrease in time (i. e., $\Delta W < 0$), while at the other ratio ($Q + X > E$) it will increase (i. e., $\Delta W > 0$).

Since the volume (W), area (F) and level (Z) of water are interrelated with each other, the calculated change in water volume ΔW can be used to determine the ratio of change in the area of the water body and its level.

To assess the dynamics of the state of the studied water body in time, the balance equation (1) is used as

$$B^T = W_{n+1} = Q_n + W_n + X_n - E_n - V_n, \quad (2)$$

where, B^T – water balance; W_{n+1} – volume for the design year; Q_n – annual inflow volume; W_n – volume for the previous year; V_n – total runoff withdrawal volume; X_n и E_n – precipitation and evaporation volumes depending on the water surface area of the object; n - design time series (year).

In the equation, precipitation falling on the water surface (X) and evaporation from it (E) can be replaced by evaporation (E_e). It should be noted that visible evaporation in arid climates, when evaporation is tens of times higher than precipitation, is always positive. Then equation (2) will take the form

$$B^T = W_{n+1} = Q_n + W_n - E_e - V_n. \quad (3)$$

Simplified balance equation (3) is adopted as a mathematical model of the research object.

To solve the equation in the mathematical model, the mean annual evapotranspiration from the water surface of the NAS (E_n), is taken equal to 920 mm, average annual precipitation (X_n) falling on the water surface is taken equal to 126 mm.

Water exchange processes or system flowability is determined by the components of the water balance and is the most important indicator of the state of the aquatic ecosystem, characterising various dynamic processes occurring in water bodies.

Estimation of system flowability (P), calculated by the relative volume of capacity of the isolated bay Saryshyanak, as

$$P = W_r / W_b \quad (4)$$

where, W_r – average annual discharge volume in NAS; W_b – the full volume of Saryshyanak Bay.

Considering river flow patterns are stochastic in nature, in the dynamic-stochastic approaches to solving the problems of scenarios of water body development and determining the optimal level of filling of the hydraulic retaining structure in the balance calculations, a temporary hydrological series ($n > 35$) made up of annual Volumes of river inflow using random number generation through statistical modelling (Monte Carlo method). The initial parameters of the studied water object are given in Table 2.

Table 2 – Initial parameters of input data of the object under study

Water object	H, m	F, thousand km ²	W, km ³	E, km ³
Northern Aral Sea	42,00	3300	27,0	2,62
incl. Saryshyanak Bay		0,133	0,100	0,100

The average annual flow of the Syrdarya river as a guaranteed limit is accepted in the volume of 12,0 km³ per year with a permissible reduction in dry years at 90 % availability – up to 10,0 km³ per year and a coefficient of variation ($C_v = 0,26$).

In the calculation tasks, the average annual inflow to the NAS is assumed to be 3,80 km³ per year. The results of solving water-balance problems are given in Figure 2 and Table 3.

Figure 2 – Working fragment of water-balance calculations

Table 3 – Calculation parameters of NAS and isolated Saryshyganak bay

Northern (Small) Aral Sea			Saryshyganak Bay		
Option I. Single-level dam			Option II. Two-level dam		
At a level of 46.0 metres abs.					
F, thousand km ²	W, km ³	E, km ³	F, thousand km ²	W, km ³	E, km ³
4180	42,0	3,32	0,600	1,73	0,476
At 50.00 m level					
5200	61,0	4,13	0,853	4,77	0,677
At the level of 52.00 metres					
–	–	–	0,980	7,45	0,778

Under the RSASP-II Project, water intake to the Saryshyganak Bay is envisaged in the amount of 1.42 km³ per year. Water transport to the bay will be carried out by means of a supply canal, which has two delivery routes from the Syrdarya River: through the Tushchibas or Kamystybas reservoirs. Under any variant of water transfer route selection, flowing water will be created in one of the lake systems of the delta, which will have a favourable impact on the aquatic ecosystem of the Aral region.

Main conclusions. Water-balance calculations show that under a single-level dam, taking into account the reality of water regime of the Syrdarya river lower reaches, the duration of AMU filling up to 46,0 m abs. mark will be 26–27 years. The period of filling up to the design mark of 50,0 m abs. – more than 35 years, at those losses will exceed 106 km³ (annual water loss for evaporation on average 3,0 km³). The critical water level is clearly limited by the bottom topography to 43,0 m abs., at which a further decrease in the level will lead to the separation of the Saryshyganak Bay from the northern Aral Sea (Figure 3).

At a two-level dam, the optimum water level of the NAS remains the design level of 42,00 m abs. For the isolated bay Saryshyganak 3 characteristic marks of water levels are considered: 46,00; 50,00 and 52,00 metres abs. (Table 3, Figure 4).

1. The bay will reach the elevation of 46,00 m abs. with a capacity of 2,2 million m³ within 3 years, with evaporation averaging 440 million m³ per year or 1,3 km³ for the entire filling period. Thereafter, unproductive discharges to the BAS (Big Arak Sea) through the NAS will continuously increase.

2. Saryshyanak Bay will reach the level of 50,00 m abs. within 6–7 years. To create favourable conditions of aquatic ecosystem by salinity close to river water it is enough to carry out annual water discharge into the NAS in the volume of 740 million m³. When filling the bay up to the design level, the total water losses for evaporation will be up to 3,8 km³ or 550 million m³ per year, which is insignificant for structures of such scale.

3. The bay will reach a level of 52,00 m abs. within 10 years, with evaporation losses of 8,0 km³ or 800 million m³ per year during the filling period.

Calculated data on the assessment of the flowability of the aquatic environment show that at water level elevations up to 50,0 m abs., water exchange processes occur in the zone of moderate flowability (0,16), and at 51,0 m abs. and above, the flowability in the system decreases (0,08).

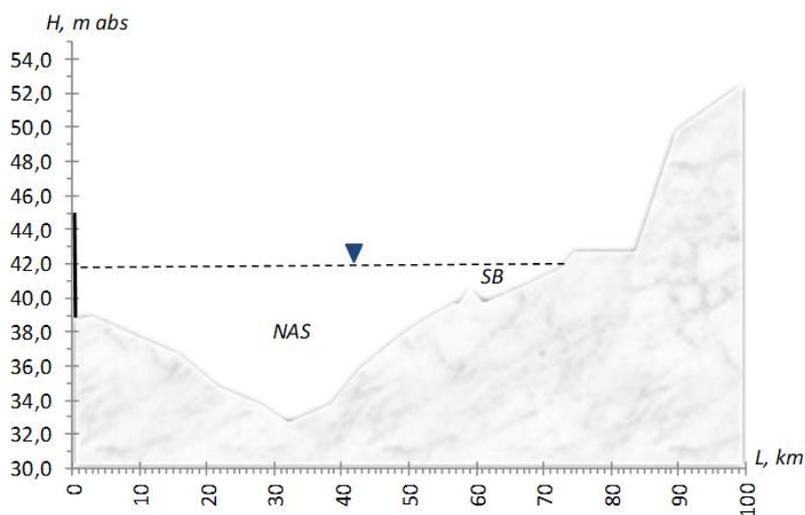


Figure 3 – Critical levels of Saryshyanak Bay NAS

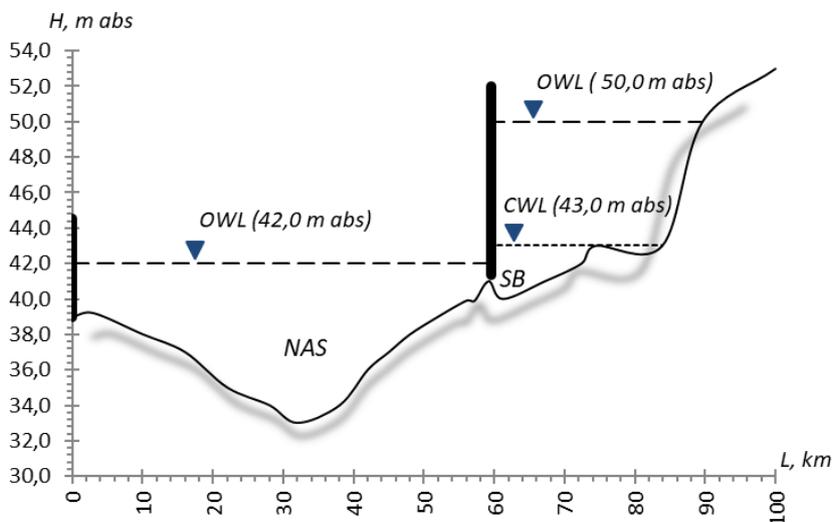


Figure 4 – Longitudinal profile of NAS and Saryshyanak Bay, characteristic reconstruction levels

Conclusion

Based on the dynamic-stochastic approach in solving problems on determining the optimal level of filling of a hydraulic structure, it can be concluded that of the two options for the construction of hydraulic structures in the water area of the Northern Aral Sea, the most preferable is the second option of reconstruction with the mark of the normal retaining horizon (NRH) – 50.00 m abs.

The two-level variant of the NAS reconstruction is characterised by a short period of filling of the bay bowl – 6–7 years, less water losses - up to 3.0 km³ and moderate water exchange process of the system – $P 0,16$.

The proposed parameters of the structure maintain high level stability providing good water transport connection, close to natural level fluctuations.

The proposed engineering measures will:

– improve the condition of the aquatic ecosystem of the Northern (Small) Aral Sea;

– significantly improve the socio-ecological and economic situation in the region, and increase the recreational attractiveness of the Aral Sea region;

– effectively manage limited water resources in the Aral-Syrdarya basin.

The significance is to improve natural properties and optimal functioning of the aquatic ecosystem with full provision of ‘ecosystem service’.

It should be especially mentioned that the Aral Sea region with its unique flora and fauna play a peculiar role of ‘reserves’ in preserving the gene pool of biodiversity in the Aral Sea region. They also carry a solution to the problem of water supply and increase of bioproductivity of the ecosystem and help to better adapt to global climate change under conditions of uncertainty and in mitigation of unfavourable effects on the environment.

References

1. Kes, A. S. Natural history of the Aral Sea and Aral region / A. S. Kes // *Izvestiya AS USSR. Series geographical.* – 1991. – Vol.4. – P.36–46.
2. Malkovsky, I. M. Integrated water resources management to restore the Aral Sea wetlands (Northern part) / I. M. Malkovsky, L. S. Toleubaeva, T. E. Sorokina [at al.] // *Issues of geography and geoecology.* – 2009. – № 3 (1–2). – P. 22–28.
3. Expert judgement on Feasibility Study of the Syrdarya and Northern Aral Sea Regulation Project, Phase-2, Taraz: 2008 – 32 p.
4. Karlykhanov, O. K. Evaluation of project decisions on RSASP II / O. K. Karlykhanov – URL: <http://www.eecca-water.net/content/view/1285/lang,ru/> (date of access: 24.10.2024).
5. Ismayilova, I. G. et al. Analysis and forecast of river waters in the zone of Volga River flow formation by the method of trends / I. G. Ismayilova // *Nature Management.* – 2022. – № 5. – P. 74–82.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОД ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ

С. В. Андреюк, к. т. н., доцент, зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, svandreuyuk@g.bstu.by

А. С. Крук, студент, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, krukaleksandra.ss@gmail.com

Реферат

В Беларуси водоснабжение городов, городских, сельских населенных пунктов и промышленных предприятий основывается на использовании пресных подземных вод. Обеспечение сохранности качества подземных вод на действующих водозаборах представляет собой важную задачу. Представлена краткая характеристика условий эксплуатации подземных вод и их качества в зонах действующих водозаборов, а также в естественных и слабо нарушенных условиях. Рассматриваются актуальные направления исследований, касающиеся вопросов охраны и рационального использования вод, добываемых на действующих водозаборах Беларуси, среди которых: высокое содержание железа в подземных водах, используемых в качестве источника питьевого водоснабжения; использование населением в сельской местности нецентрализованных источников водоснабжения, качество воды в которых не соответствует санитарным требованиям по ряду санитарно-химических и микробиологических показателей; увеличение износа очистных сооружений; высокие показатели потерь и неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения.

Ключевые слова: подземные воды, водоподготовка, питьевое водоснабжение, мониторинг, охрана вод, водопользование.

PROMISING DIRECTIONS OF RESEARCH ON THE PROBLEMS OF PROTECTION AND UTILISATION OF NATURAL ENVIRONMENT WATERS IN BELARUS

S. V. Andreyuk, A. S. Kruk

Abstract

In Belarus, water supply to cities, urban and rural settlements and industrial enterprises is based on the use of fresh groundwater. Safeguarding the preservation of groundwater quality at existing water intakes is an important task. A brief characterisation of groundwater exploitation conditions and groundwater quality in the zones of operating water intakes as well as in natural and slightly disturbed conditions is presented. Among them are: high iron content in groundwater used as a source of drinking water supply; the use of non-centralised water supply sources by the population in rural areas, the quality of which does not meet sanitary requirements for a number of

sanitary-chemical and microbiological indicators; increasing wear and tear of treatment facilities; high levels of water quality in groundwater; high levels of water quality in water supply systems.

Keywords: groundwater, water treatment, drinking water supply, monitoring, water protection, water use.

Введение

В Беларуси централизованное водоснабжение городов, городских и сельских поселков, а также промышленных предприятий базируется на использовании пресных подземных вод, приуроченных к водоносным горизонтам и комплексам четвертичных и дочетвертичных отложений зоны активного водообмена, и осуществляется посредством эксплуатации групповых водозаборов с утвержденными эксплуатационными запасами. Подземные воды являются основным источником централизованного водоснабжения населения Республики Беларусь. Так, прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод в целом по стране оцениваются в 49,596 млн м³/сут. Потенциальные возможности использования подземных вод характеризуются их естественными ресурсами, которые составляют 43,56 млн м³/сут. Самые большие естественные ресурсы – в Минской и Витебской областях, самые малые – в Брестской области [1, 2].

Эксплуатация подземных вод и их качество в районах действующих водозаборов. Общий водоотбор пресных подземных вод из скважин составил 2,3 млн м³/сут. На водозаборах с утвержденными запасами – 1,4 млн м³/сут. Степень использования разведанных эксплуатационных запасов подземных вод в целом по Республике Беларусь составляет 22 % [2, 3].

За период 2017–2022 гг. объем забора воды из окружающей среды вырос на 0,82 %. При этом наблюдается снижение забора из подземных источников на 1,73 % и рост забора из поверхностных объектов – на 4,42 %. Процент распределение и использования забранной воды сохраняется на уровне 89–90 %. Объем сточных вод в очистных сооружениях сохраняется на уровне 53–54 % от распределенной и использованной в хозяйственной деятельности воды. При этом возвратные потоки воды в окружающую среду составляют 75–77 % от забора воды. Наибольший объем забранной воды для распределения и использования приходится на сельское, лесное и рыбное хозяйство (31,29 %); обрабатывающую промышленность (16,27 %); снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом (8,40 %).

Наибольший объем сточных вод в очистных сооружениях приходится на водоснабжение, сбор, обработка и удаление отходов (73,15 %); обрабатывающую промышленность (14,63 %); снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом (9,62 %). В Беларуси доля потребления воды на сельскохозяйственные нужды (36 %) ниже средних мировых значений (69 %), но выше средних европейских (25 %), тогда как доля потребления воды на нужды промышленности (25 %) выше, чем в среднем в мире (19 %), но более чем в два раза ниже, чем в Европе (54 %). Основными потребителями воды в Беларуси являются домашние хозяйства (39 %), что значительно превышает средние уровни водопользования в Европе и в мире (21 % и 12 %, соответственно).

Показатель обеспеченности водными ресурсами в стране (по среднемноголетнему общему годовому речному стоку) составляет 6,1 тыс. куб. м воды в год на душу населения и находится на уровне средневропейского значения. Это значительно выше, чем в некоторых сопредельных странах (Польша и Украина).

Качество подземных вод по основным макрокомпонентам в большинстве проб, отобранных в 2022 году, соответствовало установленным требованиям. Исключениями являются водородный показатель, окисляемость перманганатная и железо общее, в отношении которых наблюдаются превышения ПДК.

Повышенное содержание железа в подземных водах объясняется природными гидрогеологическими условиями (далее – г/г условия). Превышений ПДК по содержанию аммоний-иона, сульфат-ионов, нитрит-ионов, хлорид-ионов в подземных водах на г/г постах в 2022 году не зафиксировано. По состоянию на 1 января 2023 года качество подземных вод эксплуатируемых комплексов и водоносных горизонтов на групповых водозаборах населенных пунктов страны в основном соответствует Санитарным правилам и нормам [4].

Однако наблюдается повышенное содержание некоторых химических элементов, а также отклонение от нормативов органолептических свойств. Так, на водозаборах Гомельской области, в большинстве эксплуатационных скважин зафиксировано превышение ПДК по содержанию марганца, мутности и цветности. На водозаборах Витебской области воды эксплуатационных скважин содержат превышение ПДК по жесткости общей, мутности, марганцу.

В бассейне р. Днепр наблюдения за качеством подземных вод в 2022 году проводились по 7 г/г постам на 7 наблюдательных скважинах, оборудованных на грунтовые (4 скважины) и артезианские (3 скважины) воды. В единичных наблюдательных скважинах на водозаборах зафиксированы несоответствия по водородному показателю. В двух скважинах бассейна р. Днепр водородный показатель ниже установленной нормы – Хоновский г/г пост (4,38 ед.) и Высковский г/г пост (4,6 ед.). По показателю перманганатная окисляемость превышения ПДК зафиксированы на г/г посту Остерский (10,88 мгО₂/дм³). Наибольшее превышение по жесткости общей зафиксировано на водозаборе Парковый (г. Орша) – 11,48 мг/дм³ при ПДК 0,1 мг/дм³, водозабор Сож (г. Гомель) – мутность варьируется от 1,66 до 5,39 мг/дм³ при ПДК 1,5 мг/дм³.

В бассейне р. Неман в 2022 году для анализа физико-химического состава подземных вод отобрано 7 проб из скважин (2 скважины оборудованы на грунтовые воды и 5 – на артезианские воды). По показателю перманганатная окисляемость превышения ПДК зафиксированы на г/г посту Антонинсбергский (10,72 мг О₂/дм³). В Гродненской области среди 10 водозаборов наибольшее превышение по мутности зафиксировано на водозаборе Подгорная Дача (г. Слоним) в пределах 1,56 – 5,34 мг/дм³ при ПДК 1,5 мг/дм³.

В бассейне р. Западная Двина в 2022 году на физико-химический состав подземных вод отобрано 2 пробы из скважин (1 скважина оборудована на грунтовые воды и 1 – на артезианские воды). Наибольшее превышение по мутности зафиксировано на водозаборе б/о Яново (г. Новополоцк, г. Полоцк) – 12,28 мг/дм³ при ПДК 1,5 мг/дм³, концентрация марганца на водозаборе Песковатик (г. Витебск) в пределах 0,153 – 0,84 мг/дм³ при ПДК 0,1 мг/дм³.

В бассейне р. Западный Буг в 2022 году на физико-химический состав подземных вод отобрано 4 пробы из скважин, оборудованных на грунтовые воды.

В бассейне р. Западный Буг водородный показатель незначительно выше нормы (9,16 ед.). На водозаборах Брестской области в 4 скважинах обнаружено превышение нормативов по содержанию кремния, в 2 скважинах – марганца, и в ряде скважин превышение по органолептическим показателям – цветности и мутности. На водозаборе Гаевский (г. Брест) отмечено значительное превышение по кремнию до 20 мг/дм³ при ПДК 10 мг/дм³, а также по перманганатной окисляемости до 73,6 мг/дм³ при ПДК 5 мг/дм³. Наибольшее превышение марганца характерно для водозабора Аэропорт (г. Брест) до 0,71 мг/дм³ при ПДК 0,1 мг/дм³. Значительное превышение показателей мутности зафиксировано на водозаборе Брилево (г. Кобрин) – до 18,8 мг/дм³ при ПДК 1,5 мг/дм³. В единичных скважинах зафиксировано превышение ПДК по азоту аммонийному и водородному показателю – водозаборы Брилево (г. Кобрин) и Мухавецкий (г. Брест).

В бассейне р. Припять наблюдения за качеством подземных вод в 2022 году проводились на 5 г/г постах (1 наблюдательная скважина оборудована на грунтовые воды и 4 скважины – на артезианские воды). По показателю перманганатная окисляемость превышения ПДК зафиксированы на г/г посте Парахонский (Пинский район) (5,93 мг О₂/дм³) при допустимой ПДК 5,0 мг О₂/дм³. На водозаборах г. Мозырь и г. Светлогорск в единичных скважинах обнаружено незначительное превышение нормативов по содержанию сероводорода и свинца. Значительное превышение цветности зафиксировано на водозаборе Первомайский (г. Береза) – до 62 градусов при ПДК 20 градусов.

Эксплуатация подземных вод и их качество в естественных и слабонарушенных условиях. На настоящий момент в Республике Беларусь 1,5 миллиона человек пользуются нецентрализованными источниками водоснабжения, такими как шахтные колодцы. Основную часть этой группы составляет сельское население. Эти источники воды обеспечивают жителей сельских районов, но важно следить за их качеством и обеспечивать безопасность питьевой воды для всех граждан

Формирование химического состава пресных подземных вод в естественных и слабонарушенных условиях определяют в основном две группы факторов:

- прямые факторы, непосредственно воздействующие на подземные воды: состав горных пород, живые организмы, хозяйственная деятельность человека;
- косвенные факторы, определяющие условия, в которых протекает взаимодействие веществ с подземными водами: климат, рельеф, гидрологический режим, растительность, гидрогеологические и гидродинамические условия и пр.

Таким образом, в результате выполненного анализа гидрохимических данных, полученных за 2022 год, установлено, что физико-химический состав подземных вод, опробованных за отчетный период на пунктах наблюдений НСМОС по определяемым компонентам, в основном, соответствует установленным требованиям качества вод [2, 3].

Исключение составили превышающие ПДК показатели органолептических свойств по: мутности (в 19 скважинах) в 1–30 раз; цветности (в 2 скважинах) в 1,67–1,79 раза; запаху (в 4 скважинах) в 1–2,5 раза; а также показатели по окисляемости перманганатной (в 4 скважинах) в 1,2–2,18 раза и окиси кремния (в 4 скважинах) в 1,07–1,37 раза. Кроме того, в 4 скважинах, оборудованных

на грунтовые воды, выявлены несоответствия установленным нормативам водородного показателя – в 2 скважинах ниже ПДК и в 2 скважинах на уровне и выше ПДК. В 1 скважине зафиксированы превышения по нитрат-иону (в скважине 533 Волчинского г/г поста). В данной скважине, расположенной в д. Волчин Каменецкого района Брестской области нитрат ионы достигают 1,04 ПДК (46,8 мг/дм³). Это может быть обусловлено тем, что скважина оборудована на неглубоко залегающие, литологически незащищенные грунтовые воды (глубина скважины 73 составляет 5,8 м) и расположена недалеко от деревни вблизи распаханного поля, на которое периодически вносятся минеральные и органические удобрения. Удобрения с талыми, дождевыми водами могут попадать в грунтовые воды и фиксироваться в данной наблюдательной скважине. Также в этой скважине зафиксирован водородный показатель рН, превышающий установленный норматив – 9,16 ед. рН. Также следует отметить во всех скважинах превышение ПДК по железу. Такие показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, формируются под влиянием как антропогенных (сельское хозяйство), так и природных (высокая проницаемость покровных отложений, присутствие фульво- и гуминовых веществ в почве, литологический состав водовмещающих пород, обильные выпадения атмосферных осадков) гидрогеологических факторов [5,6]. На основе анализа сезонных изменений уровней подземных вод установлено, что в отчетный период в пределах всех речных бассейнов в большинстве скважин прослеживалось понижение уровней грунтовых и артезианских вод. Вместе с тем, на отдельных территориях в пределах бассейнов р. Днепр, р. Неман, р. Припять и р. Западный Буг наблюдалось повышение уровней подземных вод. По сравнению с аналогичным периодом 2021 года на территории всех 5 речных бассейнов республики уровни подземных вод в основном повысились.

Рекомендуемые технологические схемы очистки подземных вод в естественных и слабонарушенных условиях для систем водоснабжения индивидуального и коллективного пользования. Установки коллективного пользования (средней производительности) для обслуживания небольших потребителей, таких как вахтовые, пастбищные и полевые бригады, детские сады и ясли, школы, больницы, воинские казармы и т.п. могут быть более сложными в эксплуатации и требовать специально подготовленного технического персонала или обслуживаться бригадами по сервису. Здесь уровень автоматизации может быть достаточно высоким, а технологический режим включать стадии регенерации. При этом дополнительное оборудование для регенерации должно включаться в общую технологическую схему.

Считается, что установки средней производительности имеют ряд преимуществ перед бытовыми установками малой производительности, в том числе использование таких установок облегчает решение проблемы сервиса и регенерации сорбентов, а также автоматизации технологического процесса.

Большинство установок средней производительности в качестве основного имеют адсорбционный блок. В комплексных технологических схемах в дополнение к адсорбции используются следующие методы: озонирование, ионный обмен, баро- и электромембранные методы, бактерицидная обработка, включая облучение ультрафиолетовым светом.

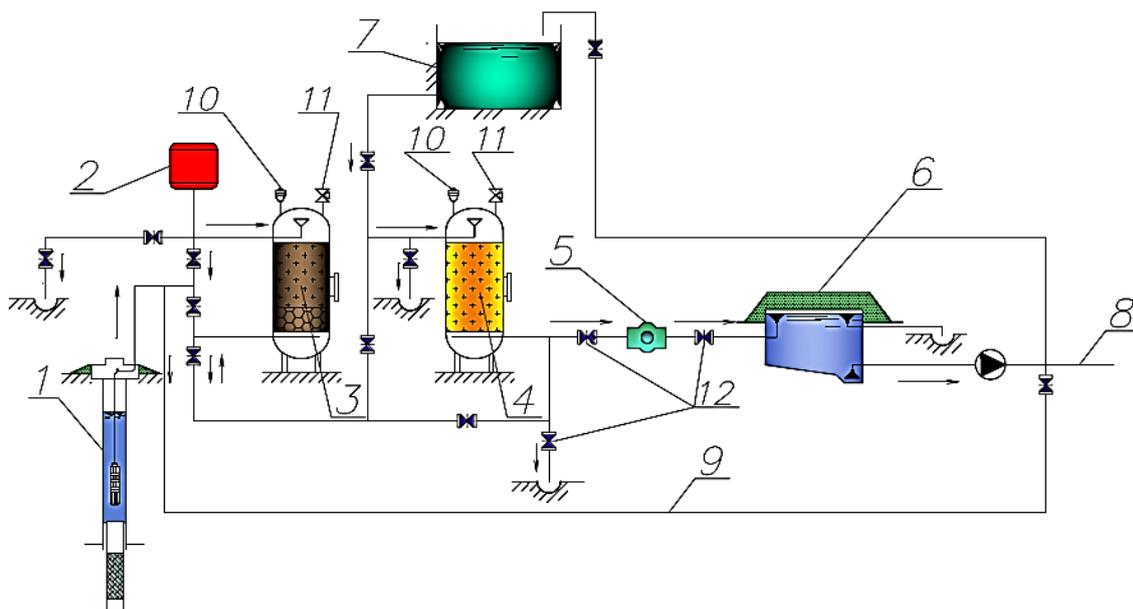
Наличие железа (Fe^{2+}) в грунтовых водах, наряду с нитратами, в концентрациях, превышающих предельно допустимые, является дополнительным фактором, определяющим состав технологической схемы водоподготовки для нецентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Как показали проведенные исследования [6, 7], с учетом принципов компоновки технологических схем, применяемых при обработке воды, а также специфических особенностей очистки воды, определяемых требованиями потребителей, процесс очистки от азотистых соединений будет включать в себя:

- физико-химическую очистку, как основную стадию удаления нитрат-ионов и железа II;
- механическую очистку для исключения попадания мелких частиц в аппараты физико-химической очистки;
- обеззараживание и/или сорбция – при необходимости как заключительная стадия обработки воды.

Для технического исполнения процесса обработки подземных вод, содержащих примеси соединений азота и железа, необходимо построить новые или реконструировать существующие сооружения водоподготовки [8].

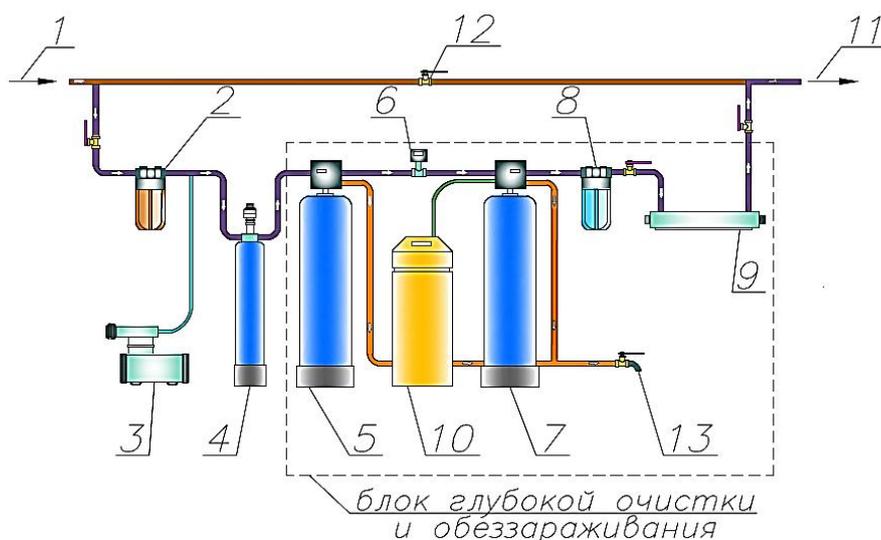
На рисунке 1 представлена технологическая схема очистки подземной воды от железа (II) и нитратов для систем водоснабжения коллективного пользования.



- 1 – источник водоснабжения (водозаборная скважина); 2 – компрессор; 3 – первая ступень очистки (обезжелезивание); 4 – вторая ступень очистки (удаление нитратов);
 5 – обеззараживание (УФ установка); 6 – резервуар для сбора очищенной воды;
 7 – бак регенерационного раствора соды; 8 – трубопровод подачи воды потребителю;
 9 – противопожарный трубопровод; 10 – вантуз; 11 – предохранительный клапан; 12 – задвижки

Рисунок 1 – Технологическая схема очистки подземной воды от железа (II) и нитратов для систем водоснабжения коллективного пользования

На рисунке 2 представлен блок технологической схемы очистки подземной воды от железа и нитратов для систем водоснабжения индивидуального пользования.



- 1 – трубопровод подачи воды из источника водоснабжения; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – компрессор; 4 – аэрационная колонна; 5 – первая ступень очистки (фильтр обезжелезивания); 6 – датчик; 7 – вторая ступень очистки (фильтр ионообменный); 8 – фильтр тонкой очистки; 9 – обеззараживание (ультрафиолетовый стерилизатор); 10 – бак регенерационного раствора соды; 11 – трубопровод подачи воды потребителю; 12 – байпас; 13 – кран для слива промывной воды

Рисунок 2 – Блок технологической схемы очистки подземной воды от железа и нитратов для систем водоснабжения индивидуального пользования

Результаты и обсуждения

Сохранение качества подземных вод действующих водозаборов, а также в естественных и слабонарушенных условиях для Беларуси является актуальной задачей [9, 10]. Существующие в Республике Беларусь проблемы в области охраны и использования вод определяют выбор направления исследований [11]:

1) высокое содержание железа в подземных водах, используемых в качестве источника питьевого водоснабжения, что требует развития системы водоподготовки и практически повсеместного строительства станций обезжелезивания подземных вод для обеспечения населения качественной питьевой водой, особенно в малых населенных пунктах и в сельской местности;

2) использование населением в сельской местности нецентрализованных источников водоснабжения (шахтных колодцев и мелкотрубчатых скважин), качество воды в которых не соответствует санитарным требованиям по ряду санитарно-химических и микробиологических показателей, в том числе содержанию минеральных азотистых соединений, что требует развития централизованного водоснабжения в сельской местности, а также создание усовершенствованной технологии и аппаратов для удаления нитратов из подземной воды для питьевого водоснабжения;

3) увеличение износа очистных сооружений, после которых сточная вода сбрасывается в окружающую среду, что требует планомерной реконструкции и модернизации существующих коммунальных очистных сооружений с внедрением высокотехнологичных методов очистки сточных вод;

4) высокие показатели потерь и неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения, что требует планомерного проведения ремонта

сетей и запорной арматуры на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства, внедрения технологий повторного использования воды в процессе водоподготовки, развития систем дистанционного учета воды.

Заключение

Дана краткая характеристика условий эксплуатации подземных вод Беларуси, их качества в районах действующих водозаборов, а также в естественных и слабонарушенных условиях.

Наряду с реализацией мероприятий по улучшению экологического состояния (статуса) водных объектов Беларуси, включая мероприятия по снижению антропогенной нагрузки на водные объекты, в том числе сокращение объемов сброса недостаточно очищенных сточных вод, актуальными в Республике Беларусь направлениями в области охраны и использования вод остаются:

- повышение эффективности очистки сточных вод на коммунальных очистных сооружениях за счет их реконструкции и модернизации;
- оценка запасов и химического состава пресных подземных вод;
- повышение эффективности водопользования за счет сокращения удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды, а также внедрения усовершенствованных водоочистных и водосберегающих технологий.

Приведены результаты исследований по разработке технологических схем очистки подземных вод в естественных и слабонарушенных условиях для систем водоснабжения коллективного и индивидуального водопользования.

Список цитированных источников

1. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод, 2017 г. – Минск : ЦНИИКИВР. – 2018. – 356 с.
2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод, 2022 г. – Минск : ЦНИИКИВР, 2022. – 149 с.
3. НСМОС: результаты наблюдений за год / Ежегодные обзоры // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь – 2022. – URL: <https://www.nsmos.by/publikacii/2022> (дата обращения: 11.11.2024).
4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99 : утв. пост. Гл. гос. сан. врача Республики Беларусь, 18 октября 1999 г., № 46. Введ. 19.10.2000; с изм. по сост. на 9 окт. 2006 г. – Минск : Минсельхозпрод, 2006.
5. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Громадской – Минск : ЦНИИКИВР, 2023. – 151 с.
6. Андреюк, С. В. Технологические схемы очистки и кондиционирования воды децентрализованных систем питьевого водоснабжения / С. В. Андреюк // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2022. – № 1 (127). – С. 2–5. – DOI: 10.36773/1818-1112-2022-127-1.
7. Андреюк, С. В. Эффективность исследований процесса очистки воды от нитратов математическим планированием / С. В. Андреюк, Б. Н. Житенев // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л. С. Новопольцева ; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – С. 321–323.
8. Житенев, Б. Н. Технологические схемы водоподготовки для удаления нитратов на ионообменных смолах в децентрализованных системах питьевого водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк // Вода Magazine. – 2018. – № 5 (129). – С. 40–43.

9. О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : постан. Совета Министров Респ. Беларусь, 22 февр. 2022 г. № 91 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=C22200091> (дата обращения: 26.02.20 22).

10. О состоянии окружающей среды Республики Беларусь за 2019–2022 гг. : Нац. доклад Мин-ва прир. ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь // Инс-т природопользования НАН Беларуси, ЦНИИКИВР. – Минск, 2023. – 172 с.

11. Зань, М. В. Аналитический обзор состояния и перспективные направления исследований по проблемам охраны и использования вод природной среды Беларуси / М. В. Зань, А. С. Крук // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 128–139.

References

1. RUP «Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnyh resursov». Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Vodnye resursy, ih ispol'zovanie i kachestvo vod (za 2017 god). Minsk : b.n., 2018. – 356 s.

2. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Vodnye resursy, ih ispol'zovanie i kachestvo vod (za 2022 god). – Minsk: RUP «CNIKIВR», 2022.– 149 s. – <https://cricuwr.by/static/files/GVK%20za%202022.pdf>.

3. NSMOS: rezul'taty nabljudenij za god / Ezhegodnye obzory // Glavnyj inforamci-onno-analiticheskij centr Nacional'noj sistemy monitoringa okruzhajushhej sredy Respubliki Belarus' – 2022. – <https://www.nsmos.by/publikacii/2022>.

4. «Pit'evaja voda i vodosnabzhenie naselennyh mest. Pit'evaja voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzhenija. Kontrol' kachestva. Sanitarnye pravila i normy SanPiN 10-124 RB 99».

5. Sostojanie prirodnoj sredy Belarusi: jekologicheskij bjulleten' / E.I.Gromadskaja, D.V. Cublenok, M.V. Vodejko, V.S. Homich, S.G. Zhivnach, M.I. Struk; Pod obshej re-dakciej E.I. Gromadskoj – Minsk: RUP «CNIKIВR», 2023 g. – 151 s.

6. Andrejuk, S. V. Tehnologicheskie shemy ochistki i kondicionirovaniya vody necentralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzhenija / S. V. Andrejuk // Vestnik Brest. gos. tehn. un-ta. – 2022. – № 1 (127). – S. 2–5. – DOI: 10.36773/1818-1112-2022-127-1.

7. Andrejuk S. V., Zhitenev B. N. Jefferektivnost' issledovaniy processa ochistki vody ot nitratov matematicheskim planirovaniem // Agrarnye landshafty, ih ustojchivost' i osobennosti razvitija: sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch. jekol. konf. / sost. L.S. Novopol'ceva; pod red. I.S. Beljuchenko. – Krasnodar: KubGAU, 2020. – S. 321–323.

8. Zhitenev, B. N. Tehnologicheskie shemy vodopodgotovki dlja udalenija nitratov na ionoobmennyh smolah v necentralizovannyh sistemah pit'evogo vodosnabzhenija / B. N. Zhitenev, S. V. Andrejuk // Proizvodstvenno-tehnicheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal «Voda Magazine». – 2018/5 (129) – Moskva, ООО «Izdatel'skij dom «Jekomedia»». – S. 40–43.

9. О Nacional'noj strategii upravlenija vodnymi resursami v uslovijah izmenenija klimata na period do 2030 goda. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 22 fevralja 2022 g. № 91. – <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=C22200091> – Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus', 26.02.20 22, 5/49954.

10. Nacional'nyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Belarus' za 2019 – 2022 gody: Nac. doklad / Min. priр. res. i ohrany okr. sredy RB, Ins-t prirodo-pol'zovaniya NAN Belarusi, RUP «CNIKIВR». – Minsk, 2023. – 172 s.

11. Zan', M. V. Analiticheskij obzor sostojaniya i perspektivnye napravlenija issledovaniy po problemam ohrany i ispol'zovaniya vod prirodnoj sredy Belarusi / M. V. Zan', A. S. Kрук // Inzhenerno-jekologicheskie aspekty i perspektivy razvitija sistem vodosnabzhenija i водоотведения: sb. nauchn. statej Mezhdunar. nauch.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, S. V. Andrejuk. – Брест: BrGTU, 2024. – S. 128-139.

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ КАК ПРОЦЕСС ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

*Ш. Аннабердиев, А. Гурбансяхедов, О. Рахмедов, Я. Алламырадов,
преподаватели, Государственный энергетический
институт Туркменистана, Мары, Туркменистан*

Реферат

В современной юридической, экономической, технической литературе, в законодательстве достаточно часто употребляется термин «экологизация». Используется он в различных значениях, отличающихся содержанием, признаками, методами.

Цель работы – рассмотреть понятие «экологизации» на основе анализа научной литературы с учетом положений экологического законодательства, выявить признаки, особенности экологизации в различных направлениях, предложить модельное определение экологизации. Методологическая основа – использовались методы анализа и синтеза, а также аргументация, обобщение, аналогия. Результаты – аргументировано авторское определение категории «экологизация» с учетом положений науки и законодательства. Выводы – экологизация представляет собой процесс внедрения систем правовых, экономических, управленческих и других решений, позволяющих обеспечивать неистощимое, непрерывное использование возобновляемых и рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов для удовлетворения потребностей настоящего времени, без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

Ключевые слова: экологизация, экологизация законодательства, экологизация экономики, экологизация производства, устойчивое развитие.

GREENING AS A PROCESS OF ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

S. Annaberdiev, A. Gurbansjahedov, O. Rahmedov, J. Allamyradov

Abstract

In modern legal, economic, technical literature, as well as in the legislation the term «greening» is rather often used. This term is used in various meanings, the difference is in its features, its content and methods. Objective: the author of the article intends to consider the concept of the term «greening» based on the analysis of scientific literature taking into account provisions of ecological and other legislation, to identify the signs, the features of «greening» in various directions, to suggest a model definition of the term «greening» and to analyze the categories of «greening of legislation», «greening of production». Methodology: In doing the research, the following methods of study were used: method of analysis and synthesis, reasoning, generalization and method of comparison. Results: the article suggests the author's definition of

the category «greening». The author arrived to the definition taking into account references to science and the legislation. Conclusions: greening is the process of introducing legal, economic, managerial and other solutions to ensure the inexhaustible, continuous use of renewable and sustainable use of non-renewable natural resources to satisfy present-day needs, without the damage to the possibility of future generations to meet their own needs.

Keywords: greening, greening of legislation, greening of economy, greening of production, sustainable development.

Введение

Современная экологическая среда характеризуется высоким уровнем технологизации, что влияет на наше взаимодействие с природой. Понимая взаимосвязь общества и природы, человек активно использует природные ресурсы, стремясь улучшить условия жизни. Современные технологии производства – это звено, отражающее не только взаимодействие общества с природой, но и взаимодействие человека с обществом и природой. Одним из ключевых направлений развития является экологизация, то есть интеграция экологических принципов во все сферы жизни, включая образование. Например, экологизация технологий предполагает создание производственных процессов, которые минимизируют вредное воздействие на окружающую среду и обеспечивают производство качественной продукции.

Основная часть

Ключевым аспектом экологизации производства является создание технологических систем, направленных на эффективное использование ресурсов и минимизацию отходов. Это подразумевает комплексный подход, включающий повторное использование сырья, замкнутые циклы производства и минимизацию вредных выбросов. Безотходные технологии, являясь идеалом, предполагают полное использование всех ресурсов и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду. На практике это достигается за счет создания производственных цепочек, где отходы одного предприятия становятся сырьем для другого.

Глобальный экологический кризис требует перехода к новой модели развития, которая бы обеспечивала баланс между экономическим ростом и сохранением окружающей среды. Необходимо разработать стратегию устойчивого развития, которая коренным образом изменит наши подходы к ведению хозяйства.

Для этого потребуется переосмыслить цели экономики, перенаправить инвестиции и научные исследования на создание экологически чистых технологий и производств. Такая трансформация потребует изменений на всех уровнях – от государственной политики до повседневной жизни каждого человека.

Современное общество все больше зависит от научно-технического прогресса для решения экологических и экономических проблем. Рациональное использование природных ресурсов и внедрение инноваций становятся ключевыми факторами устойчивого развития. По мере роста производства и усложнения взаимосвязей в обществе, возрастает необходимость в постоянном совершенствовании технологий и научных исследований. Именно инновации являются движущей силой прогресса, способствуя повышению эффективности производства и охране окружающей среды.

Инновации – это двигатель прогресса, позволяющий не только создавать новые продукты и технологии, но и обеспечивать бережное отношение к природе, что является неотъемлемой частью устойчивого развития. Зеленая экономика – это модель развития, которая позволяет улучшить качество жизни людей, не нанося ущерб природе, обеспечивая баланс между экономическим ростом и экологической устойчивостью. В отличие от устаревших моделей экономического развития, зеленая экономика направлена на решение глобальных проблем, таких как изменение климата и деградация окружающей среды, и способствует достижению целей устойчивого развития. Нехватка сырья, загрязнение воды и воздуха, отсутствие чистой питьевой воды, изменение климата, потеря биоразнообразия и другие проблемы ставят под угрозу достижение целей, поставленных в Декларации тысячелетия ООН в области развития.

В своем выступлении на конференции «Рио+20» Герой-Аркадаг заявил, что главным условием устойчивого развития мира является продвижение масштабных проектов зеленой экономики через координацию глобальной экономики на региональном и национальном уровнях. Цель зеленой экономики – стимулирование реформ во всех секторах экономики, направленных на охрану окружающей среды. Теория «зеленой» экономики основана на трех ключевых принципах:

1. Невозможно бесконечно увеличивать отдачу от ограниченного пространства.

2. Невозможно утверждать, что постоянно растущий спрос может быть удовлетворен в условиях ограниченных природных ресурсов.

3. Все в мире взаимосвязано.

К основным преимуществам «зеленой» экономики можно отнести уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, разработку и внедрение экологически чистых технологий, переход на экологически чистый транспорт и повышение энергоэффективности. Кроме того, «зеленая» экономика способствует снижению уровня бедности, созданию более благоприятных условий для устойчивого развития, рациональному использованию природных ресурсов, созданию новых рабочих мест и повышению качества жизни. Она также направлена на замену традиционных источников энергии и сырья на экологически чистые альтернативы. Этот подход отражает базовые принципы и основные направления развития «зеленой» экономики в Туркменистане.

Экологические проблемы, которые сегодня привлекают внимание мирового сообщества, неразрывно связаны с духовным, культурным и национальным наследием народов. Нравственное и социальное развитие общества отстает от научно-технического прогресса. Это создает явную угрозу выживанию человечества, которое является частью биосферы. Поэтому государственная политика, направленная на обеспечение экологического благополучия страны, должна быть ориентирована на сохранение биоразнообразия, рациональное использование природных ресурсов и внедрение инновационных «зеленых» технологий.

Основной целью внедряемой в стране «зеленой экономики» является охрана и рациональное использование природных ресурсов, предотвращение нарушения экологического равновесия, загрязнения окружающей среды и нанесения ей ущерба, а также обеспечение более высокого качества жизни населения в экологически безопасных условиях. Она направлена на создание условий,

при которых люди могли бы работать, отдыхать и удовлетворять свои материальные и культурные потребности.

В последнее время значение экологических знаний и экологической культуры в нашем обществе значительно возросло. Активно развиваются теоретические и практические направления экологической науки. Разработка комплекса мер, направленных на развитие экологической культуры молодежи и воспитание у нее бережного отношения к природе, является одной из важнейших задач современности. Закон Туркменистана «О государственной молодежной политике» предусматривает реализацию соответствующих мероприятий по формированию экологической культуры у молодых граждан и воспитанию бережного отношения к окружающей среде.

Наконец, с экологической точки зрения, обеспечение устойчивого развития должно обеспечивать биологическую и физическую целостность природных систем. Укрепление научно-технического потенциала страны вносит существенный вклад в защиту экологического благополучия.

Во всех отраслях народного хозяйства внедряются инновационные, экономически эффективные технологии. Принимаются специальные меры по повышению эффективности контроля качества воздуха и обеспечению соответствия строящихся объектов экологическим нормам и требованиям. В качестве конкретного примера можно привести модернизацию комплекса нефтеперерабатывающих заводов в городе Туркменбаши, оснащение его новым оборудованием, строительство морского вокзала «Яшыл Порт» в соответствии с международными стандартами, а также такие крупные инвестиционные проекты, как создание туркменского озера «Алтын Асыр» в Каракумах.

Одним из проектов Туркменистана, направленных на значительное улучшение экологической обстановки региона, является туркменское озеро «Алтын Асыр». Реализация этого проекта имеет огромное значение не только для нашей страны, но и для всего региона. Этот гидротехнический комплекс оказывает положительное влияние на природную среду пустыни Каракумы и экологическую обстановку всего региона, создавая благоприятные условия для рационального использования водных и почвенных ресурсов, решения важных социально-экономических задач, в том числе освоения пустынных земель, увеличения пастбищ, развития животноводства и сельского хозяйства.

Национальная туристическая зона «Аваза», созданная на чистых берегах Каспийского моря, является привлекательной места для любителей экологического туризма.

В стране принимаются национальные правовые документы, направленные на переход к «зеленой экономике». Оказывается, финансовая помощь, предоставляются льготные кредиты и вводятся стимулы для поддержки этой сферы. В «Национальной программе социально-экономического развития Туркменистана на 2022–2052 годы» запланирован комплекс мер по переходу к «зеленой» экономике.

Основными задачами перехода страны к «зеленой экономике» являются: повышение эффективности использования природных ресурсов, создание новых экологически чистых отраслей экономики, модернизация существующих производств, повышение уровня жизни населения и улучшение качества окружающей среды, укрепление национальной безопасности.

Переход к «зеленой экономике» будет осуществляться по следующим направлениям: рациональное использование природных ресурсов, развитие высокоэффективного и устойчивого сельского хозяйства, повышение энергоэффективности, развитие возобновляемых источников энергии, экотуризма, системы управления отходами, снижение загрязнения воздуха и воды, а также охрана и эффективное управление экосистемами.

«Национальная программа социально-экономического развития Туркменистана на 2022–2052 годы» служит основным инструментом для реализации этих мероприятий.

Считается, что вопросы обеспечения энергетической безопасности неразрывно связаны с экологическими проблемами. В частности, Туркменистан активно поддерживает усилия международного сообщества по снижению уровня парниковых выбросов в атмосферу и последовательно внедряет экологически чистые и ресурсосберегающие технологии в промышленном секторе. Принятая в 2012 году «Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата» направлена на создание необходимых условий для развития «зеленой экономики».

Заключение

Для успешного перехода к «зеленой» экономике необходимо выполнение следующих условий: государственная поддержка экологически чистых продуктов, товаров и услуг; предоставление финансовой помощи и других экономических льгот предприятиям, не наносящим вред окружающей среде; увеличение инвестиционных фондов для «зеленых» секторов экономики; совершенствование системы экологического регулирования; расширение международного сотрудничества; развитие рыночной инфраструктуры, способствующей зеленому развитию.

Таким образом, переход к «зеленой» экономике способствует созданию новых рабочих мест, ускоряет темпы роста ВВП и, как следствие, улучшает финансовое положение населения.

Список цитированных источников

1. Шлентова, А. А. Опыт внедрения принципов устойчивого развития в образовательный процесс на примере вузов // Управление культурой. – 2024. – №. 2 (10). – С. 47–54.
2. Авраменко, А. А. Политизация экологии и экологизация политики: ценности и интересы // Международная аналитика. – 2024. – Т. 14. – №. 4. – С. 11–20.
3. Латыпова Л. А., Латыпова Г. И. Перестройка энергетики с учетом экологизации экономики // ББК 1 Н 34. – С. 866.
4. Бакирова, Ш. З. Экологические проблемы окружающей среды // Science and innovation. – 2024. – Т. 3. – №. Special Issue 39. – С. 56–60.

References

1. Shlentova, A. A. Opyt vnedrenija principov ustojchivogo razvitija v obrazovatel'nyj process na primere vuzov // Upravlenie kul'turoj. – 2024. – №. 2 (10). – S. 47–54.
2. Avramenko, A. A. Politizacija jekologii i jekologizacija politiki: cennosti i interesy // Mezhdunarodnaja analitika. – 2024. – T. 14. – №. 4. – S. 11–20.
3. Latypova L. A., Latypova G. I. Perestrojka jenergetiki s uchetom jekologizacii jekonomiki // BVK 1 N 34. – S. 866.
4. Bakirova, Sh. Z. Jekologicheskie problemy okruzhajushhej sredy // Science and innovation. – 2024. – T. 3. – №. Special Issue 39. – S. 56–60.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА РЕАГЕНТНУЮ ВОДОПОДГОТОВКУ

***В. Н. Ануфриев**, к. т. н., доцент кафедры водоснабжения и водоотведения,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: vladimir.anufriev@bntu.by*

***Г. А. Волкова**, к. т. н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны
водных ресурсов, Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь, e-mail: volga-brest@mail.ru*

Реферат

Примеси, обуславливающие мутность и цветность природных вод, а также диспергированные и коллоидные частицы могут быть удалены из воды только путем реагентной обработки коагулянтами.

В данной статье рассмотрены процессы коагулирования примесей природных вод. Проведен анализ показателей качества воды (мутность, цветность, перманганатная окисляемость, биомасса фитопланктона) из поверхностного источника водоснабжения, осветленной воды с добавленными алюминий-содержащими коагулянтами по этапам очистки и очищенной воды по периодам года.

В зависимости от показателей качества поверхностной воды, поступающей на водоочистные сооружения, рекомендуется принимать постоянную подачу коагулянта или периодическую подачу (дробную) в холодное время года, что дает возможность значительно сократить потребность в коагулянте и увеличить длительность фильтроциклов при работе скорых фильтров.

Ключевые слова: водоподготовка, коагулирование, примеси воды, показатели качества воды, режим дозирования, дозы реагентов, мутность, цветность, перманганатная окисляемость.

INFLUENCE OF WATER PARAMETERS OF SURFACE WATER SUPPLY SOURCES ON REAGENT WATER TREATMENT

V. N. Anoufriev, H. A. Volkova

Abstract

Impurities that cause turbidity and color in natural waters, as well as dispersed and colloidal particles, can be removed from water only by reagent treatment with coagulants.

This article discusses the processes of coagulation of impurities in natural waters. An analysis of water quality indicators (turbidity, color, permanganate oxidation, phytoplankton biomass) from a surface water supply source, clarified water with added aluminum-containing coagulants by stages of purification, and purified water by periods of the year was carried out.

Depending on the quality indicators of surface water entering the water treatment plant, it is recommended to use a constant supply of coagulant or periodic supply (fractional) in the cold season, which makes it possible to significantly reduce the need for coagulant and increase the duration of filter cycles when operating rapid filters.

Keywords: water treatment, coagulation, water impurities, water quality indicators, dosage regimen, reagent doses, turbidity, chromaticity, permanganate oxidability.

Введение

Состав поверхностных вод, в том числе водохранилищ, зависит от условий формирования (подготовка ложа, поступление взвешенных и влекомых наносов) и источников питания. Как правило, вода водохранилищ характеризуется значительным содержанием органических веществ, наличием планктона и повышенной минерализацией в придонных слоях. Массовое развитие, отмирание клеток фитопланктона в поверхностных источниках водоснабжения ухудшает качество воды, приводит к появлению интенсивного запаха, повышению мутности и цветности воды, увеличению концентрации органических веществ, способствует выносу водорослей с водой на водопроводные очистные сооружения и увеличению взвешенных веществ на сооружения. Сине-зеленые водоросли, широко представленные в водохранилищах, генерируют цианотоксины, концентрация которых возрастает в период интенсивного размножения водорослей. Некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении придают воде неприятный запах.

Во время паводка происходит разбавление воды поверхностных источников тальми водами с одновременным увеличением содержания примесей. С июля по ноябрь (летне-осенний период) в поверхностных источниках водоснабжения (реках, водохранилищах, озерах) наблюдается максимальное развитие фитопланктона – цветение.

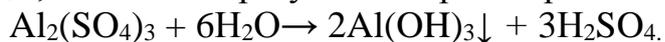
Влияние параметров воды поверхностных источников водоснабжения на реагентную водоподготовку

Качество очищенной воды, подаваемой в систему питьевого водоснабжения, должно соответствовать показателям безопасности воды централизованных систем питьевого водоснабжения, установленным гигиеническим нормативом [1]. Для эффективной очистки воды на станциях водоподготовки проводят исследования по совершенствованию реагентной обработки (выбор коагулянтов и флокулянтов, определение их доз, порядок и место ввода в обрабатываемую воду) и по основным технологическим процессам и методам очистки воды, принятым на станциях.

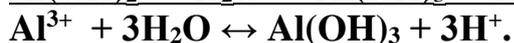
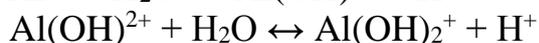
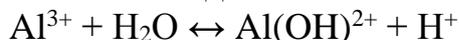
Методы реагентной обработки, в частности, коагулирование, применяют, как правило, для очистки воды из поверхностных водоисточников. Коагулирование применяется для ускорения выпадения взвеси, осуществляется путем добавления в обрабатываемую воду химических реагентов (коагулянтов), образующих хлопья, которые, оседая, увлекают за собой взвесь, содержащуюся в воде поверхностного источника водоснабжения.

Коагулянты, используемые в технологии водоподготовки, являются солями слабых оснований и сильных кислот (сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$, сульфат железа (III) $FeCl_3$, алюминат натрия $NaAlO_2$, оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ и др.).

При их растворении происходит гидролиз. Взаимодействуя с гидроксильными ионами OH^- , образовавшимися в результате электролитической диссоциации воды, эти соли образуют малорастворимые основания $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$:



Гидролиз солей алюминия, используемых в качестве коагулянтов, протекает в несколько стадий:



В воде накапливаются ионы H^+ , и раствор приобретает кислую реакцию. Полнота гидролиза имеет большое значение как для самой коагуляции, так и для качества очищаемой воды, поскольку наличие ионов алюминия в очищенной питьевой воде не должно превышать $0,5 \text{ мг/дм}^3$ в соответствии с требованиями [1]. Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, с увеличением температуры раствора и с увеличением рН. $\text{Al}(\text{OH})_3$ является амфотерным соединением, т. е. обладает как кислотными, так и основными свойствами. Растворимость гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ в кислой среде пропорциональна 3-й степени концентрации ионов $[\text{H}^+]$, а в щелочной среде – обратно пропорциональна концентрации ионов $[\text{H}^+]$.

В настоящее время для подготовки питьевой воды используют алюминий содержащие коагулянты: полиоксихлорид алюминия марки «АКВА-АУРАТ™», коагулянт для очистки воды ПОЛВАК марки 68, гидроксихлорид алюминия – «Pro-AQUA» марки «Pro-AQUA SB», полиалюминий гидроксид марки «БОПАК-Е» и др. Эти реагенты требуют меньших доз, при этом не изменяют рН обрабатываемой воды, хорошо срабатывают при низких температурах воды (от 0°C до минус 4°C), образуют меньший объем осадка, который легко обезвреживается.

Флокулянты добавляют в воду после коагулянта с временным интервалом от 30 до 120 с. В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, хорошо растворимые в воде. Наиболее распространенными неорганическими флокулянтами являются активированный силикат натрия (активная кремневая кислота) и активный диоксид кремния ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$). Из синтетических флокулянтов применяют органический полимер полиакриламид (ПАА), который является анионным флокулянтом. Выпускают также флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3), которые, в отличие от флокулянта анионного типа ПАА, вызывают образование крупных хлопьев без обработки воды коагулянтами. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

Наличие достаточного щелочного резерва имеет важное значение при рассмотрении условий протекания процесса коагулирования примесей воды. Если щелочной резерв недостаточен, то в воду дополнительно вводят подщелачивающие реагенты – известь или соду.

В целом на процесс коагуляции примесей воды оказывают влияние следующие факторы:

- количество взвешенных и коллоидных веществ, степень их дисперсности;
- концентрация растворенных органических соединений;
- концентрация ионов H^+ в воде;
- щелочность воды;
- анионный состав воды;
- температура воды, при низкой температуре воды повышается вязкость дисперсионной среды, снижается интенсивность теплового движения молекул и агрегатов и уменьшается степень гидролиза коагулянта;
- активная реакция воды ($pH = -\lg [H^+]$), в паводок при осветлении холодной воды с высокой цветностью и мутностью, с низкой щелочностью поддерживают значения pH в интервале от 6,5 до 7,5;
- доза коагулянта и доза флокулянта, в том числе – при использовании полимерных высокомолекулярных флокулянтов, интенсифицирующих процесс хлопьеобразования;
- условия перемешивания и быстрота смешения воды с реагентами, для этого применяют эффективные конструкции смесителей и камер хлопьеобразования и регулируют режим их работы;
- содержание в воде естественных взвесей [2].

Показатели качества (мутность, цветность, перманганатная окисляемость, pH, запах, привкус, общая минерализация, щелочность, солевой состав, биомасса фитопланктона и др.) поверхностной воды, поступающей на станцию водоподготовки, изменяются в зависимости от сезонов года. При этом зависимости между содержанием примесей в исходной воде и в очищенной воде имеют не линейный характер. Также установлено существенное влияние гидрологического режима водоема на содержание примесей в исходной воде из поверхностного источника.

В связи с этим, расчетные дозы реагентов устанавливаются на основании инженерных изысканий для различных периодов года и корректируются в период наладки и эксплуатации сооружений, согласно строительным нормам [3]. Оптимальную дозу коагулянта определяют на основании результатов пробного коагулирования воды, выполняемого на водоочистных станциях.

На рисунке 1 показана кинетика изменения по сезонам года показателя мутности исходной воды, осветленной воды после горизонтальных отстойников и очищенной воды.

Из графика (рисунок 1) видно, что в холодное время года в декабре – апреле мутность поверхностной исходной воды составляла 0,69–1,64 мг/дм³, происходит снижение показателя мутности в очищенной воде до 0,44–0,62 мг/дм³, что не превышает норматива, равного 1,5 мг/дм³. Эффект очистки составил 62%. При этом за период с января до середины февраля обработка поверхностной воды коагулянтом не производилась. В остальное время производилась обработка воды алюминийсодержащими коагулянтами дозой от 3,0 до 5,5 мг/дм³.

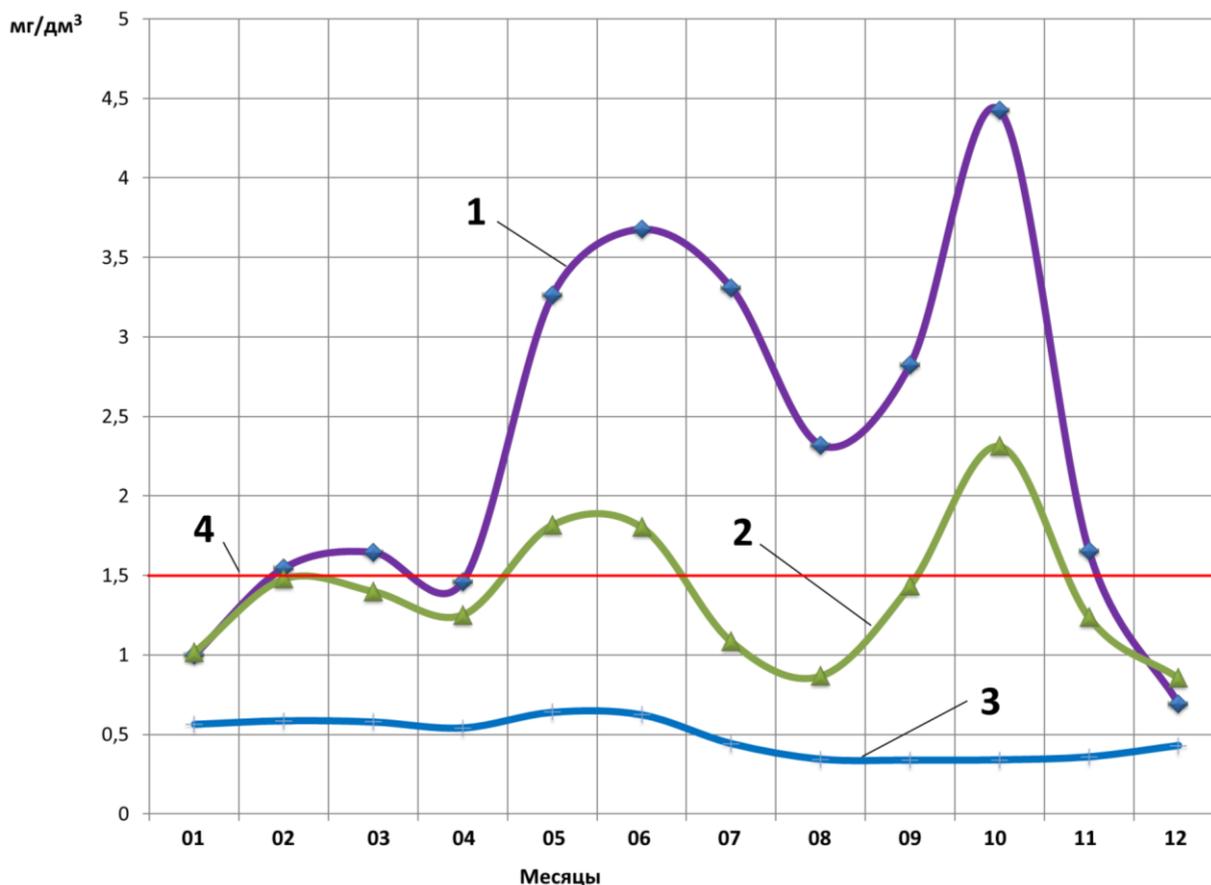
За период июнь – октябрь при максимальной мутности исходной воды, равной 2,32–4,43 мг/дм³, происходит снижение показателя до 0,34–0,63 мг/дм³ в очищенной воде (эффект очистки – 86 %).

На рисунке 2 показана кинетика изменения показателя цветности исходной воды из поверхностного источника, осветленной воды с добавленными алюминийсодержащими коагулянтами после отстойника и очищенной воды.

На графиках (рисунок 2) показано, что цветность поверхностной воды колеблется в течение года от 15,5 до 17,8 градусов. При этом максимальные значения в очищенной воде наблюдались в холодный период года и составили до 11–12 градусов, а эффект очистки по значению цветности – порядка 33%.

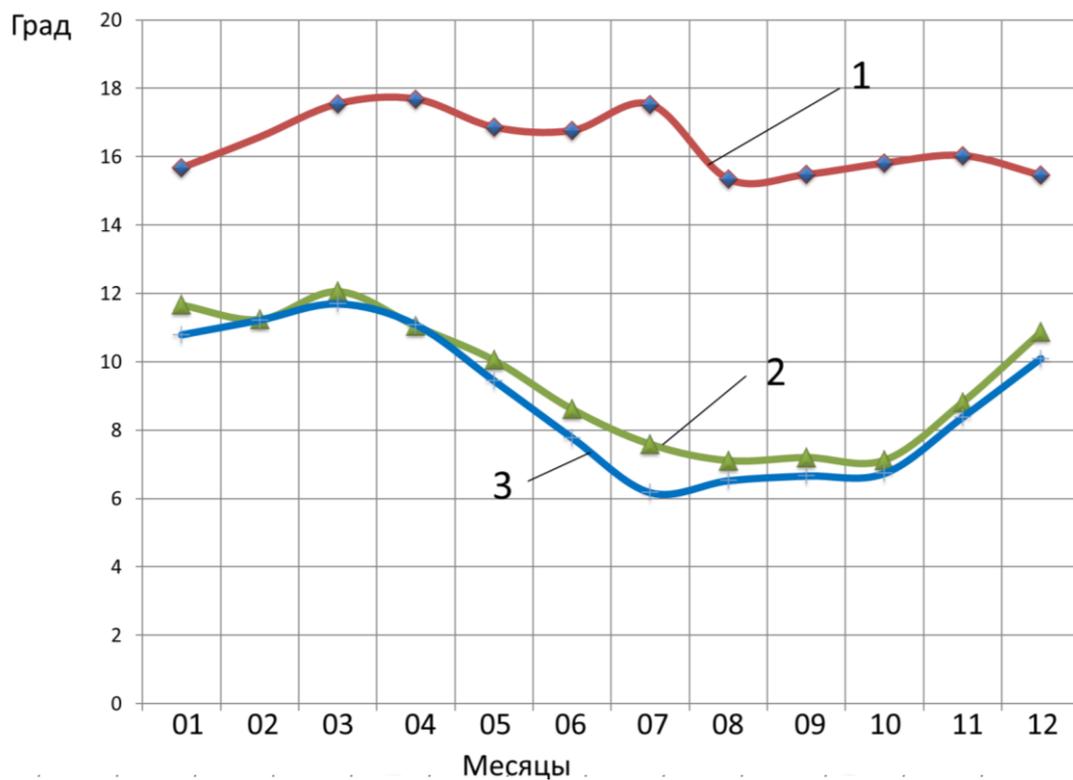
Для сравнения, эффект по этапам очистки за период январь – март 2018 г. при максимальных значениях показателя цветности, равных 25–30 градусов, составил 57 %; в 2019 г. за период январь – апрель при максимальной цветности 18–19 градусов – 32 %.

Таким образом, прослеживается закономерность: эффект снижения по значениям показателя цветности ниже, чем по значениям показателя мутности. При низких температурах в зимнее время очистка воды солями алюминия протекает неудовлетворительно: процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются, хлопья образуются очень мелкие, осаждаются неравномерно, в результате в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтр, в очищенной воде может появляться некоторое количество остаточного алюминия. Это объясняется изменением вязкости воды. Вязкость воды при 1°С примерно в два раза больше, чем при 30°С. Во столько же раз замедляется и скорость осаждения взвешенных в ней частиц [2].



1 – исходная вода; 2 – вода после отстаивания; 3 – очищенная вода;
4 – норматив питьевой воды

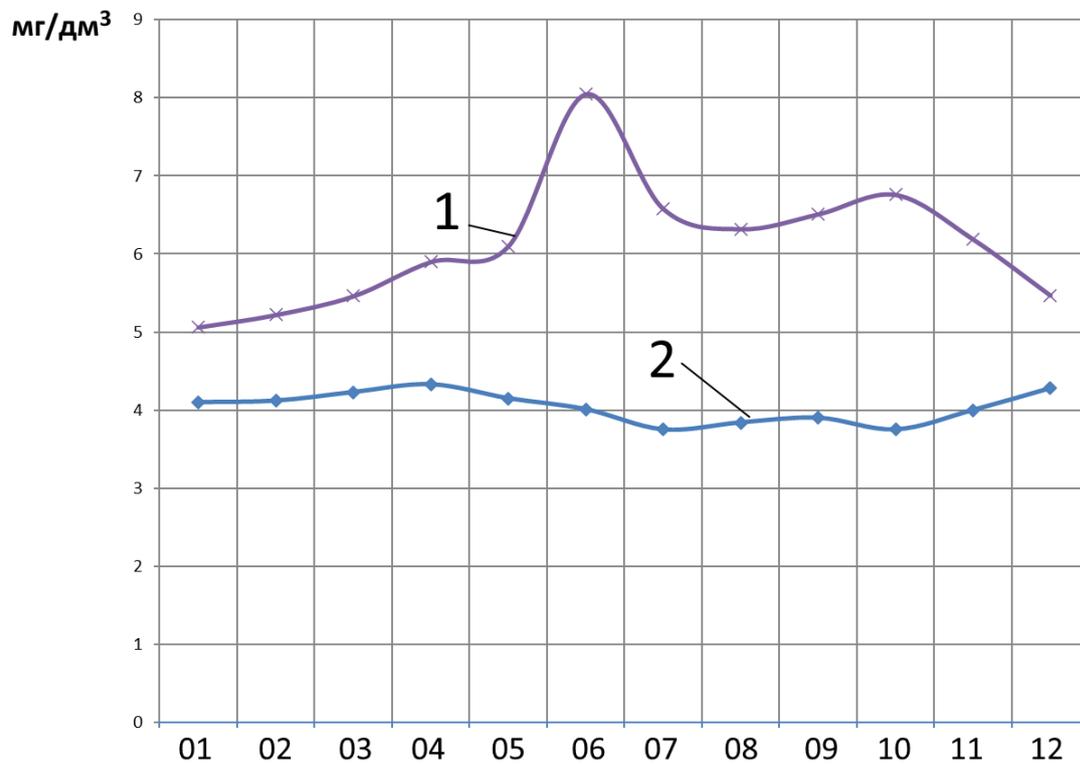
Рисунок 1 – Кинетика изменения мутности воды, мг/дм³, по этапам очистки в 2020 г.



1 – исходная вода; 2 – вода после отстаивания; 3 – очищенная вода

Рисунок 2 – Кинетика изменения цветности воды, град. цветности, по этапам очистки в 2020 г.

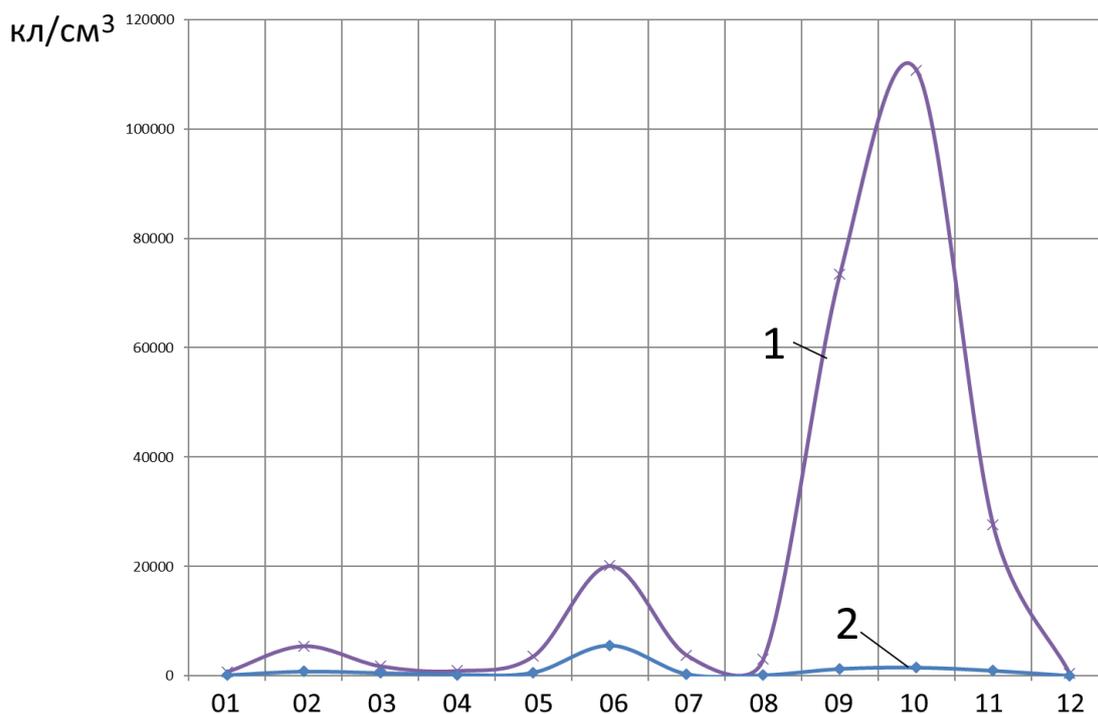
На рисунке 3 показана кинетика изменения показателя перманганатной окисляемости исходной воды и очищенной воды.



1 – исходная вода; 2 – очищенная вода

Рисунок 3 – Кинетика изменения перманганатной окисляемости воды, мг/дм³

Из приведенных на рисунке 3 графиков видно, что максимальные значения перманганатной окисляемости исходной воды фиксировались в период июнь – июль и составили 6,55–8,05 мг/дм³. Значение перманганатной окисляемости в очищенной воде поддерживалось в пределах от 3,75 до 4,20 мг/дм³, и происходило снижение этого показателя до 50 %. В этот же период (июнь – июль) количество клеток фитопланктона в исходной воде возрастает с 3820 кл/см³ в июне до 20142 кл/см³ в июле, что характеризует первую «волну» размножения водорослей под воздействием температуры воды и содержания биогенных веществ. Эффект очистки воды составил 90 % при снижении количества клеток фитопланктона в очищенной воде до 331,0–5610,0 кл/см³ (см. рисунок 4).



1 – исходная вода, 2 – очищенная вода

Рисунок 4 – Кинетика изменения количества клеток фитопланктона, кл/см³

В течение августа – ноября проходит вторая «волна» роста и интенсивности размножения водорослей, с максимумом в октябре с количеством клеток фитопланктона в исходной воде 110705 кл/см³. При этом с августа по ноябрь удаление биомассы фитопланктона относительно стабильно производилось с эффектом 99 %, со снижением в очищенной воде количества клеток фитопланктона до 132,0–1529,0 кл/см³.

В процессе работы сооружений водоподготовки выделяют весенний период, когда повышается температура исходной воды и наступают условия, благоприятные для размножения фитопланктона, и, как следствие, увеличиваются перманганатная окисляемость и мутность, которые сильно влияют на эффективность очистки воды. Дозы коагулянтов также зависят от биомассы фитопланктона и перманганатной окисляемости воды. В холодное время года (декабрь – апрель) замедляется развитие фитопланктона, снижается перманганатная окисляемость и мутность исходной поверхностной воды в источнике водоснабжения, соответственно снижаются и дозы коагулянтов.

Заключение

Взаимное влияние всех факторов, влияющих на процесс коагулирования, невозможно точно рассчитать, поэтому для достижения эффективного управления процесса водоподготовки требуется постоянный мониторинг показателей качества воды по этапам очистки.

Режим дозирования коагулянта выбирается с учетом совокупности полученных данных. Периодическая подача коагулянта целесообразна в холодный период года при температуре обрабатываемой воды, ориентировочно, менее 8° С, когда снижается мутность поверхностной исходной воды, но сохраняются более высокие значения показателей цветности, перманганатной окисляемости, количества клеток и биомассы фитопланктона. Также следует учитывать результаты пробного коагулирования воды, по результатам которого на данный момент времени устанавливается целесообразность постоянной или периодической подачи коагулянта.

Список цитированных источников

1. Показатели безопасности питьевой воды : Гигиенический норматив ; введ. 05.03.21. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 24.10.2024).
2. Драгинский, В. Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, С. В. Гетманцев. – М. : Наука, 2005. – 576 с.
3. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СН 4.01.01-2019 ; введ. 09.04.2020. – Минск : Стройтехнорм. – 2020. – 68 с.

References

1. Hygienic standard «Drinking water safety indicators». Approved by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on January 25, 2021. – № 37.
2. Draginsky, V. L. Coagulation in natural water purification technology / V. L. Draginsky, L. P. Alekseeva, S. V. Getmantsev. – Moscow: Science, 2005 – 576 p.
3. SN 4.01.01-2019 «Water supply. External networks and structures» Construction standards of the Republic of Belarus. – Minsk. – 2020, 68 p.

УДК 627.8.064.3.046.3+627.41.064.3(476)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА КРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*А. А. Артемчик, м. т. н., ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: artemchik.aliaksandr@gmail.com*

*В. Е. Левкевич, д. т. н., профессор, профессор кафедры водоснабжения
и водоотведения, Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, e-mail: v.lev2014@mail.ru*

Реферат

Воздействие абразии и эрозии на откосы подпорных сооружений и берегов может приводить к негативным последствиям, таким, как размывы и разрушения. Для предотвращения пагубных последствий важно правильно подобрать

защитные противоабразионные и противоэрозионные материалы и конструкции креплений.

Проанализированы факторы и условия, влияющие на устойчивость откосов подпорных сооружений и берегов, и выделены основные, влияющие на устойчивость креплений в условиях Республики Беларусь. Приведены результаты комплексной оценки эффективности эксплуатации различных типов креплений откосов подпорных сооружений на водохранилищах Беларуси. Предложены оригинальные конструктивные решения по креплениям откосов с помощью объемного моделирования. Сформулированы укрупненные требования к креплениям откосов водоемов Беларуси.

Ключевые слова: берегозащита, крепление откосов, крепление берегов, устойчивость берегов, устойчивость откосов, водохранилище, моделирование, абразия, гибкие бетонные маты.

SELECTING THE OPTIMAL TYPE OF PROTECTION THE SLOPES OF RETAINING STRUCTURES AND THE BANKS OF RESERVOIRS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. A. Artemchik, V. E. Levkevich

Abstract

The impact of abrasion and erosion on the slopes of retaining structures and banks can lead to negative consequences, such as washouts and destruction. To prevent harmful consequences, it is important to correctly select anti-abrasion and anti-erosion materials and the design of protection. The factors and conditions affecting the stability of slopes of retaining structures and supports are analyzed, and the main factors affecting the stability of bank and slope protection in the conditions of Belarus are identified.

The results of a comprehensive assessment of the operating efficiency of various types of slope fastenings of retaining structures in reservoirs in Belarus are presented. Original constructive solutions for slope protection are proposed by means of scale modeling. General requirements for slope protection of reservoirs in Belarus are formulated.

Keywords: coast protection, slope protection, bank protection, bank stability, slope stability, reservoir, modeling, abrasion, flexible concrete mats.

Введение

Вопрос защиты и крепления берегов и откосов сегодня актуален практически для любого водоема и водотока как в Республике Беларусь, так и за ее пределами. Это связано как с процессами их естественного переформирования, так и влиянием антропогенных факторов, которые, в свою очередь, существенно повышают их интенсивность. Абразионным и эрозионным процессам подвержены как незакрепленные, так и закрепленные берега и откосы.

Трансформация прибрежных территорий приводит к обрушению береговой линии, что в свою очередь вызывает ряд проблем: обмеление водоема, разрушение объектов жилой и транспортной инфраструктуры, выведение из землепользования сельскохозяйственных и лесных угодий и т. д. В свою очередь

новые и более эффективные способы защиты от абразионных и эрозионных процессов будут положительно сказываться при создании новых водохранилищ и использовании уже существующих в целях гидроэнергетики и комплексного использования возобновляемых источников энергии, коим вода и является, где наблюдаются постоянные колебания уровня в целях аккумуляирования воды, также это будет способствовать децентрализация выработки энергии и независимость от ископаемых энергоносителей.

Результаты и обсуждение

На территории Республики Беларусь расположено около 155 водохранилищ с полным объемом более 1 млн м³ каждое, общей площадью зеркала более 834 км², полным объемом – более 3,1 км³, полезным – более 1,27 км³ [1–5].

Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных конструкций и сооружений (откосов плотин и дамб, а также берегов более чем на 90 водохранилищах) по данным натурных обследований, проведенных в период 2013–2021 гг., оценивается в пределах 120 км, что составляет около 50 % протяженности всех креплений на водохранилищах [6, 7].

В общем случае выбор типа защиты откоса от разрушения должен основываться на соблюдении баланса между экономичностью и эффективностью строительства и эксплуатации, а также надежностью и долговечностью при наименьших эксплуатационных затратах, простотой возведения и возможностью проведения ремонтно-восстановительных работ.

Практика показала, что тип и конструкцию креплений определяют: нагрузки, вызываемые воздействиями водоема на берега и откосы сооружений; геологические и гидрогеологические условия основания, физико-механические свойства грунта тела, а также рельеф бортов водного объекта; значение защищаемой территории для народного хозяйства, ее использование в градостроительных, промышленных и транспортных целях; планировочные требования к прибрежной полосе и архитектурные требования, а также устанавливается с учетом максимального использования средств механизации и местных материалов [8, 9, 10].

Факторы и условия, влияющие на устойчивость откосов и берегов. Степень эрозии в основном зависит от преобладающего направления ветра (ветроволнового режима), ориентации к нему плотины и берегов, крутизны откосов и берегов, колебаний уровня воды, геологических и гидрогеологических, ледовых явлений, активности водного транспорта и других факторов.

Ветро-волновой режим водоема является основным фактором, определяющим разрушение (размывы) верхних откосов плотин и дамб, а также берегов, возникающим на водохранилище при ветре. Наблюдения на водохранилищах Беларуси за ветро-волновым режимом показали, что на небольших водоемах, площадью до 32 км², могут возникать волны высотой до 1,5 м [1].

Корабельные волны, возникающие при движущимся теле по поверхности водоема в условиях Республики Беларусь, не играют значительной роли в жизни откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ.

Сгонно-нагонные явления напрямую зависят от ветрового режима. Характерной особенностью ветрового режима является шквалистость ветров.

В результате действия длительных ветров одного направления на водную поверхность одновременно с волнами возникает поверхностное (дрейфовое) течение, подъем уровня (нагон) у одного берега водохранилища и спад уровня (сгон) у другого берега, т. е. водная поверхность приобретает характерный перекося вследствие перемещения огромных масс воды под действием ветра от одного берега водохранилища к другому. Следствием перекося уровня воды является градиентное течение, направленное противоположно вызвавшему его дрейфовому течению. Сгонно-нагонные явления резко проявляются на мелководных водохранилищах, их продолжительность бывает от нескольких часов до нескольких дней [11, 12]. В Беларуси сгонно-нагонные явления не оказывают пагубного воздействия на откосы и берега водохранилищ ввиду морфометрических характеристик вышеназванных, а также климатических (ветровых) условий Республики Беларусь. Сгонно-нагонные явления резко проявляются на мелководных крупноплощадных водохранилищах. Это подтверждается исследованиями Е. М. Левкевича [13, 14, 15].

Внутриводоемные течения в водохранилищах не играют той роли, которую ранее играли в водотоке до создания подпорного сооружения, ибо скорости течения в водохранилищах даже во время паводков и половодий весьма малы, лишь в верховье водохранилищ, где имеют место малые глубины и ширины, скорости могут быть относительно большими. Вглубь водохранилища, ниже по течению, скорости становятся все меньше и меньше, а у плотины они обычно ничтожно малы и измеряются величинами порядка 0,1–0,2 м/с [11].

Влияние условий эксплуатации водохранилищ на устойчивость откосов и берегов. Уровенный режим водоема в общем случае определяется видом регулирования, осуществляемым данным объектом. Ключевую роль играют скорость наполнения и сработки.

Уровенный режим характеризуется общим изменением уровней, амплитудой, обеспеченностью (повторяемостью) и длительностью стояния. Водоохранилища гидроэлектростанций (ГЭС), гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) и в особенности комплексных электростанций, отличаются характером регулирования и, следовательно, степенью воздействия на природу и хозяйство прилегающих районов. Существенные изменения претерпевает также уровенный режим в нижнем бьефе гидроузлов. Эти изменения тем значительней, чем больше полезный объем водохранилища или чем неравномернее режим его эксплуатации [12].

Независимо от вида регулирования амплитуда колебания уровней (разница между наивысшим и наименьшим положением уровней) в условиях большинства водохранилищ Беларуси не превышает 1,5 м, лишь на Вилейском водохранилище она может достигать 3 м.

Все водохранилища Беларуси в зависимости от уровенного режима в верхнем бьефе (ВБ) делятся на две группы: а) первая – водоемы с амплитудой колебания уровня в безледный период более 0,5 м и малой обеспеченностью отметок верхнего бьефа (ВБ) близких к отметкам нормального подпорного уровня (НПУ) (водоемы многолетнего и сезонного регулирования); б) вторая – водоемы с малыми колебаниями уровней в безледный период (0,1–0,5 м), но большой обеспеченностью отметок близких к НПУ (водоемы сезонного, недельно-суточного, суточного регулирования, а также наливные) [6].

Ледово-термические явления на водохранилищах значительно отличаются от аналогичных явлений на незарегулированных реках (свободных реках). Образование ледяного покрова на поверхности водоема задерживают ветры, которые вызывают волнение, они же в свою очередь и ускоряют освобождение водохранилища от льда. Период установления сплошного ледяного покрова (ледостава) на водоемах всегда больше, чем на водотоках. На водохранилищах лед обычно задерживается и тает на месте в отличие от рек. Глобальные климатические изменения в последние годы приводят к тому, что зима становится короткой, теплой и практически бесснежной, если раньше ледовый покров задерживался в среднем на 4,5 месяца, то теперь этот период составляет порядка от 1 до 1,5 месяцев. Это позволяет в ряде случаев пренебрегать воздействиями льда в качестве статических и динамических нагрузок (нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении, нагрузки на сооружения от ледяных полей, движущихся льдин, нагрузки от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды и т. д.).

Гидрогеологические условия. Искусственные водоемы, создаваемые в результате строительства гидроэлектростанций, технологические водоемы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и атомных электростанций (АЭС) и т. д., всегда вступают в сложные и разнообразные взаимодействия с подземными водами. По отношению к водоему такое взаимодействие определяет его инфильтрацию (подземный сток из водохранилища) и фильтрацию (подземный сток в водохранилище), которая бывает временной и постоянной. Практически все водохранилища в республике «принимают» грунтовые воды, т. е. они являются дренами грунтовых вод, что в свою очередь прямо влияет на устойчивость непроницаемых креплений.

Также необходимо учитывать классификации по *геоморфологическому признаку*, т. е. процессу переработки берегов в зависимости от грунтов, которые слагают берега [2].

Анализ существующих способов креплений откосов подпорных сооружений и берегозащиты. Проведя сравнительный анализ традиционных и инновационных способов защиты откосов подпорных сооружений и берегов на основе натуральных стационарных наблюдений и экспедиционных обследований, а также литературных источников, было выделено несколько основных групп.

1. По характеру взаимодействия с водным потоком берегоукрепительные сооружения подразделяются на *активные*, использующие энергию потока для намыва и сохранения береговых наносов, оказывающие заметное влияние на гидравлическую структуру потока в районе берега (буны, шпоры, волнорезы (молы, волноломы) и т. д.) и *пассивные*, противостоящие водному потоку за счет прочности своей конструкции и лишь защищающие береговой откос от размыва (бетонные и железобетонные плиты, каменная наброска и др.).

Активные берегоукрепительные сооружения практически не используются в Беларуси ввиду малых плановых размеров водоемов. Такие сооружения применены лишь на водохранилищах: Заславское, Вилейское, Погост, Солигорское и некоторых др.

2. Второе условное принятое нами деление всех креплений на – проницаемые или непроницаемые типы. По нашему мнению, проницаемость крепления

является ключевой характеристикой, которая в свою очередь прямо влияет на устойчивость сооружения.

3. Немаловажным критерием при классификации является гибкость (полностью отсутствующая или малая) тела крепления и его деформируемость.

Практика эксплуатации креплений показала, что жесткие железобетонные конструкции не решают проблему эффективной защиты берегов, в худшем положении оказываются именно те участки побережья водных объектов, где проводилось активное берегоукрепление с применением железобетона. Причина этого состоит в том, что внедрение жестких конструкций в береговую зону приводит к существенной перестройке всей системы взаимосвязей и взаимозависимостей гидро- и литодинамических процессов [2, 6, 11, 16]. Установлено, что наиболее распространенными креплениями берегов и откосов в Беларуси являются железобетонные монолитные либо сборные плиты. Определено, что деформации креплений представлены раскрытием межплиточных строительных, температурных и осадочных швов (зарегистрирована ширина раскрытия до 0,35 м), которые развиваются под комплексным воздействием ветрового волнения, колебания уровней и других факторов.

Данные выводы основаны на многолетнем опыте эксплуатации и обследований ГТС.

Критериям проницаемости и гибкости соответствуют:

1. Каменные наброски и каменные наброски, покрытые полиуретановыми составами [6, 17, 18].

2. Матрачно-тюфячные габионы.

3. Гибкие бетонные покрытия (ГБП).

4. Геоматы, геомембраны и георешетки в сочетании с креплениями из каменной наброски, залужения и т. д.

5. Другие набросные и насыпные крепления (тетраподы, отсыпки из отработанных железобетонных конструкций и т. д.).

6. Инженерно-биологические способы защиты.

Каждый тип крепления из вышеупомянутых имеет свои слабые и сильные стороны, а также ограничения к применению. Инженерно-биологические способы защиты применимы лишь при высоте волн до 0,5–0,7 м [6, 19, 20]. Матрачно-тюфячные габионы подвержены разрушению и полной потери устойчивости в холодном климате, разрушение происходит при высокой степени смерзания ледового поля с заполнителем и проволочными каркасами, также подвергаются коррозии сетчатые конструкции, однако сейчас находят место полимерные сетчатые каркасы. Крепления из каменных набросок подвержены разрушениям при подвижках ледового покрова, а вследствие водопроницаемости покрытия происходит постепенное вымывание обратного фильтра, а затем и размыв берега [16]. Гибкие бетонные покрытия обладают незначительными прогибами и не могут полностью покрыть изгибы защищаемой поверхности. Стальные соединительные канаты подвержены коррозии, но в данный момент этот недостаток решен за счет применения полимерных канатов.

На основании вышесказанного было выполнено упрощенное и укрупненное макро моделирование, которое представляло из себя гибкие бетонные маты (ГБМ) из квадратных блоков, соединенных двумя разными способами, а также

треугольных и шестиугольных блоков. Визуализация принципиальной работы гибких креплений из элементов различной конфигурации показана ниже на рисунке 1.



а) квадратные блоки, соединенные по центрам сторон между собой; б) квадратные блоки, соединенные по углам; в) треугольные блоки, соединенные по центрам сторон; г) шестиугольные блоки, соединенные по центрам сторон

Рисунок 1 – Крепления из различных блоков

Моделирование подтвердило и показало, что «классические» ГБМ из квадратных блоков не могут полностью покрыть изгибы защищаемой поверхности, а связи блоков по углам не дали никакого преимущества, а наоборот, повлияли на жесткость конструкции в худшую сторону. Треугольные блоки не показали своей эффективности ввиду «расхлябанности» конструкции, это связано

со способом их соединения между собой (середины сторон) и количеством связей (трех). Самым эффективным типом, как и ожидалось, стали шестиугольные блоки, они обладают лучшей покрывной способностью, чем привычные квадратные блоки, это связано, как с их «уплотненной» формой, так и количеством связей, т. е. такие блоки более эффективны на полигональных поверхностях, коими берега водоемов и являются. Это и подтвердили публикации о ряде объектов с применением ГБМ из шестиугольных блоков в Канаде.

Хоть ГБМ нельзя назвать инновационным типом крепления, однако на данный момент нет простой и удобной методики расчета для определения устойчивости такого покрытия, а влиянием гидрогеологического режима основания в принципе пренебрегают, равно как и устойчивостью такого крепления на откосе, если традиционный обратный фильтр в виде слоев из каменной наброски заменяется на геосинтетические материалы.

Заключение

Выделены основные факторы и условия, влияющие на абразию берегов водохранилищ и крупных естественных водоемов в условиях Республики Беларусь.

Проведен анализ традиционных способов крепления берегов и откосов, применяемых в Беларуси, а также инновационных, выявлены перспективные способы крепления.

На основе физического имитационного моделирования определена наиболее эффективная конструкция гибкого крепления откосов подпорных сооружений и берегов в условиях Беларуси.

Список цитированных источников

1. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2020. – 150 с.
2. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М. : Мысль, 1987. – 323 с.
3. Левкевич, В. Е. Инженерно-геологическое районирование территории Беларуси по развитию переработки берегов и откосов дамб и плотин на водохранилищах / В. Е. Левкевич, В. В. Кобяк, А. В. Бузук // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата ГЕОРИСК-2018 : материалы X Междунар. науч.-практич. конф. по проблемам снижения природных опасностей и рисков, 23–24 окт. 2018 г., г. Москва : в 2 т. ; отв. ред. Н. Г. Мавлянова. – М. : РУДН, 2018. – Т. 1. – С. 204–209.
4. Водохранилища Беларуси // Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Минприроды Респ. Беларусь [сайт]. – URL: <https://rad.org.by/articles/voda/vodohranilischa-belarusi.html> (дата обращения: 03.08.2024).
5. Водохранилища Беларуси : справочник ; под общ. ред. М. Ю.Калинина / ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов Минприроды Респ. Беларусь. – Минск : Полиграфкомбинат, 2005. — 182 с.
6. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.
7. Левкевич, В. Е. Устойчивость берегозащитных и берегоукрепительных сооружений водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2019. – 160 с.
8. Богославчик, П. М. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений : учеб. пособ. для студентов учрежд. Высш. Образ. по специальностям Строительство тепловых и атомных электростанций, Водохозяйственное строительство, Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 365 с.

9. Левкевич, В. Е. Масштабы и динамика развития экзогенных процессов на водохранилищах Беларуси // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 215-летию со дня рождения И. Домейко, 31 июля – 3 авг. 2017 г., г. Минск ; редкол. : А. К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – С. 123–130.

10. Руководство по проектированию береговых укреплений на внутренних водоемах / Гос. респ. проект. ин-т Гипрокоммунстрой. – М. : Стройиздат, 1984. – 110 с.

11. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : Наукова думка, 1973. – 416 с.

12. Авакян, А. Б. Водохранилища гидроэлектростанций СССР / А. Б. Авакян, В. А. Шараров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1968. — 384 с.

13. Левкевич, Е. М. Некоторые особенности ветрового волнения на водоемах с малыми разгонами волн / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Водное хозяйство Белоруссии / Белорусский государственный политехнический институт. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – Вып. 3.– С. 144–147.

14. Левкевич, Е. М. К расчету высоты ветровой волны на водохранилищах с малой длиной разгона / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Водное хозяйство Белоруссии / Белорусский государственный политехнический институт. – Минск : Вышэйшая школа, 1974. – Вып. 4. – С. 90 – 93.

15. Левкевич, Е. М. Длина и период ветровых волн на малых водохранилищах / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Водное хозяйство Белоруссии : респ. межведомств. сб. науч. трудов / Белорусский гос. политехнич. ин-тут. – Минск : Вышэйшая школа, 1975. – Вып. 5. – С. 100–107.

16. Черных, О. Н. Инженерная защита при создании водохранилищ от абразии и перестроения берегов : метод. указания / О. Н. Черных, Я. Ю. Бурлаченко. — М. : РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2024.– 77 с.

17. Elastocoast® (PU) – The revetment that protects // BASF – Global : [web site]. – (Performance Polymers). – URL: https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/elastocoast.html (дата обращения: 03.08.2024).

18. Кантаржи, И. Г. Накат волн на проницаемые закрепленные откосы / И. Г. Кантаржи, С. Л. Кивва, Н. В. Шунько // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 6. – С. 13–23.

19. Богославчик, П. М. Гидротехнические сооружения : курс лекций для студентов высш/учеб/ заведений спец-ти 1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов / П. М. Богославчик // Мин-во образования Респ. Беларусь, Белорусский нац. технич. ун-тет, каф. гидротехнич. и энергетич. строит-ва». – 2-е изд., испр. – Минск : БНТУ, 2014. – 221 с.

20. Кукреш, А. С. Основы инженерной биологии и ландшафтоведение: учебно-методич. комплекс для студентов высш. сельскохоз. учеб. заведений спец-ти 1-74 04 01 сельское строит-во и обустройство территорий / А. С. Кукреш, В. И. Желязко, Т. Д. Лагун. – Горки : БГСХА, 2010. – 118 с.

References

1. Levkevich, V. E. Inzhenernaya zashchita i monitoring pribrezhnoj zony vodohranilishch Belarusi / V. E. Levkevich. — Minsk : Pravo i ekonomika, 2020. — 150 s. : il., cv. il., tabl., karty, skhemy ; 21 sm.

2. Avakyan A. B. Vodohranilishcha / A. B. Avakyan, V. P. Saltankin, V. A. SHarapov. — Moskva : Mysl', 1987. — 323, [2] s. : il., kart. ; 27 sm. — (Priroda mira).

3. Levkevich, V. E. Inzhenerno-geologicheskoe rajonirovanie territorii Belarusi po razvitiyu pererabotki beregov i otkosov damb i plotin na vodohranilishchah / V. E. Levkevich, V. V. Kobyak, A. V. Buzuk // Analiz, prognoz i upravlenie prirodnyimi riskami s uchetom global'nogo izmeneniya klimata «GEORISK - 2018» : materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii po problemam snizheniya prirodnyh opasnostej i riskov, Moskva, 23-24 oktyabrya 2018 g.: v 2 t. / otv. red. N. G. Mavlyanova. – Moskva : Izdatel'stvo RUDN, 2018. – T. 1. – S. 204-209.

4. Vodohranilishcha Belarusi [Elektronnyj resurs] // GU «Respublikanskij centr po gidrometeorologii, kontrolyu radioaktivnogo zagryazneniya i monitoringu okruzhayushchej sredy» Minprirody Respubliki Belarus'. — Rezhim dostupa: <https://rad.org.by/articles/voda/vodohranilishcha-belarusi.html>. — Data dostupa: 03.08.2024.

5. Vodohranilishcha Belarusi : spravochnik / [M.YU.Kalinin i dr. ; pod obshej redakciej M.YU.Kalinina] ; Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy, RUP «Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnyh resursov». — Minsk : Poligrafkombinat, 2005. — 182 s., [8] l. il. ; 25 sm.
6. Levkevich, V. E. Kreplenie beregov i verhovyyh otkosov podpornyyh sooruzhenij gidrouzlov Belarusi / V. E. Levkevich. — Minsk : BNTU, 2019. — 172 s.
7. Levkevich, V. E. Ustojchivost' beregozashchitnyh i beregoukrepitel'nyh sooruzhenij vodohranilishch Belarusi / V. E. Levkevich. - Minsk : Pravo i ekonomika, 2019. - 160 s.
8. Bogoslavchik, P. M. Proektirovanie i raschety gidrotekhnicheskikh sooruzhenij : uchebnoe posobie dlya studentov uchrezhdenij vysshego obrazovaniya po special'nostyam «Stroitel'stvo teplovyh i atomnyh elektrostancij», «Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo», «Vodosnabzhenie, vodootvedenie i ohrana vodnyh resursov» / P. M. Bogoslavchik, G. G. Kruglov. — Minsk : Vyshejschaya shkola, 2018. — 365, [1] s. : il., tabl. ; 21 sm.
9. Levkevich, V. E. Masshtaby i dinamika razvitiya ekzogennyh processov na vodohranilishchah Belarusi // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy zapada Vostochno-Evropejskoj platformy: problemy izucheniya i racional'nogo ispol'zovaniya : materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 215-letiyu so dnya rozhdeniya I. Domejko, Minsk, 31 iyulya — 3 avgusta 2017 g. / [redkollegiya: A. K. Karabanov (otvetstvennyj redaktor) i dr.]. — Minsk, 2017. — S. 123-130.
10. Rukovodstvo po proektirovaniyu beregovyyh ukreplenij na vnutrennih vodoemah / Gos. resp. proekt. in-t «Giprokommunstroj». — Moskva : Strojizdat, 1984. — 110 s. : il. ; 20 sm.
11. Pyshkin, B. A. Dinamika beregov vodohranilishch / B. A. Pyshkin. — Kiev : Naukova dumka, 1973. — 416 s.
12. Avakyan, A. B. Vodohranilishcha gidroelektrostancij SSSR / A. B. Avakyan, V. A. SHarapov. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva : Energiya, 1968. — 384 s. : il. ; 22 sm.
13. Levkevich, E. M. Nekotorye osobennosti vetrovogo volneniya na vodoemah s malymi razgonami voln / E. M. Levkevich, V. N. YUhnovec // Vodnoe hozyajstvo Belorussii / Belorusskij gosudarstvennyj politekhnicheskij institut. — Minsk : Vyshejschaya shkola, 1973. — Vyp. 3. — S. 144-147.
14. Levkevich, E. M. K raschetu vysoty vetrovoj volny na vodohranilishchah s maloj dlinoj razgona / E. M. Levkevich, V. N. YUhnovec // Vodnoe hozyajstvo Belorussii / Belorusskij gosudarstvennyj politekhnicheskij institut. — Minsk : Vyshejschaya shkola, 1974. — Vyp. 4. — S. 90 — 93.
15. Levkevich, E. M. Dlina i period vetrovyh voln na malyyh vodohranilishchah / E. M. Levkevich, V. N. YUhnovec // Vodnoe hozyajstvo Belorussii : respublikanskij mezhvedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov / Belorusskij gosudarstvennyj politekhnicheskij institut. — Minsk : Vyshejschaya shkola, 1975. — Vyp. 5. — S. 100-107.
16. CHernyh, O. N. Inzhenernaya zashchita pri sozdanii vodohranilishch ot abrazii i pereformirovaniya beregov : metod. ukazaniya / O. N. CHernyh, YA. YU. Burlachenko. — Moskva : RGAU – MSKHA im. K. A. Timiryazeva, 2024. — 77 s.
17. Elastocoast® (PU) – The revetment that protects [Elektronnyj resurs] // BASF – Global : [veb-sajt]. — (Performance Polymers). — URL: https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/elastocoast.html (data obrashcheniya: 03.08.2024).
18. Kantarzhi, I. G. Nakat voln na pronicaemye zakreplennyye otkosy / I. G. Kantarzhi, S. L. Kivva, N. V. SHun'ko // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. — 2014. — № 6. — S. 13 — 23.
19. Bogoslavchik, P. M. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya : kurs lekcij dlya studentov special'nosti 1-70 04 03 «Vodosnabzhenie, vodootvedenie i ohrana vodnyh resursov» vysshih uchebnyh zavedenij / P. M. Bogoslavchik ; Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet, Kafedra «Gidrotekhnicheskoe i energeticheskoe stroitel'stvo». — 2-e izd., ispravlennoe. — Minsk : BNTU, 2014. — 221, [1] s. : il., tabl. ; 21 sm.
20. Kukresh, A. S. Osnovy inzhenernoj biologii i landshaftovedenie: uchebno-metodicheskij kompleks dlya studentov vysshih sel'skohozyajstvennyh uchebnyh zavedenij special'nosti 1-74 04 01 «Sel'skoe stroitel'stvo i obustrojstvo territorij» / A. S. Kukresh, V. I. ZHelyazko, T. D. Lagun. — Gorki : BGSKHA, 2010. — 118 s.

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ

*А. А. Волчек, д. г. н., профессор, профессор кафедры природообустройства,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: volchak@tut.by*

*Ю. П. Городнюк, магистр, ассистент кафедры природообустройства,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: juliagirodniuk99@gmail.com*

Реферат

Климат как одна из физико-географических особенностей окружающей среды играет важную роль в хозяйственной деятельности человека. В последние десятилетия активно обсуждается вопрос о влиянии изменения климата на отдельные отрасли хозяйственной деятельности и в частности, на сельское хозяйство. Температура воздуха и атмосферные осадки являются основными факторами, влияющими на урожайность сельскохозяйственных культур и особенно, на озимые зерновые культуры, так как современные климатические изменения характеризуются значительным ростом зимних температур.

Анализ среднегодовых, среднемесячных температур воздуха за период инструментальных наблюдений показывает наличие ярко выраженного положительного тренда, при этом во временных рядах атмосферных осадков тенденции изменения не наблюдается.

Ключевые слова: температура воздуха, климат, глобальное потепление, осадки.

MODERN CLIMATIC FLUCTUATIONS IN THE BREST REGION AND THEIR IMPACT ON WINTER GRAIN YIELD

A. A. Volchek, Y. P. Haradniuk

Abstract

Climate, as one of the physical and geographical features of the environment, plays an important role in human economic activity. In recent decades, the issue of the impact of climate change on certain industries on economic activity and, in particular, on agriculture has been actively discussed. Air temperature and precipitation are the main factors affecting the yield of agricultural crops and especially winter crops, since modern climatic changes are characterized by a significant increase in winter temperatures.

Analysis of average annual and average monthly air temperatures for the period of instrumental observations shows the presence of a pronounced positive trend, while there is no trend in the time series of precipitation.

Keywords: air temperature, climate, global warming, precipitation.

Введение

Одним из основных направлений развития экономики Брестской области является сельское хозяйство. Этому способствует ее географическое положение, климатические особенности, а также крупномасштабные мелиорации,

проводимые во второй половине прошлого столетия. Современные климатические колебания оказывают существенное влияние на возделывание сельскохозяйственных культур. Особенно это сказывается на озимых культурах, так как основные климатические изменения в большей степени коснулись зимних температур. Поэтому данный факт необходимо учитывать при выращивании озимых культур для обеспечения стабильных высоких урожаев.

Рост температуры воздуха при практически постоянной годовой сумме атмосферных осадков способствует увеличению частоты и длительности атмосферных и почвенных засух, которые наносят серьезный ущерб сельскому хозяйству [1].

Повышение температуры воздуха по метеостанциям Брестской области наблюдается во все месяцы года и наиболее выражено в зимний период. В работе исследованы следующие характеристики климата: среднегодовые, среднемесячные температуры воздуха, атмосферные осадки и урожайность озимых культур, которые представлены в виде пространственно-временных характеристик колебания климата, актуализированные с учетом последних лет, что позволило с использованием современных методов выделить тренды и циклические компоненты временных рядов [2].

В условиях продолжающегося глобального изменения климата становится все более важным осуществлять мониторинг климатических изменений в различных районах. Только точная оценка произошедших изменений и адекватное прогнозирование будущих тенденций, позволят разработать стратегии адаптации к климатическим изменениям, снизить негативное воздействие, а также выявить положительные аспекты изменений климата. Температура и осадки являются ключевыми факторами, формирующими климат любой территории, поэтому их изучение представляет особую значимость.

Исходные данные и методика исследования

Исследование основано на многолетних данных урожайности озимой ржи по районам Брестской области, среднемесячных температурах воздуха, осадках по метеостанциям Пружаны, Брест, Ивацевичи, Пинск, Ганцевичи за период с 1995 по 2023 гг. Для описания многолетних колебаний урожайности использованы следующие статистические модели: последовательность независимых случайных величин; простая и сложная цепь Маркова. Детально методика исследования описана в работе [1].

Динамика изменения температурного режима и режима осадков по исследуемым метеостанциям (Пружаны, Брест, Ивацевичи, Пинск, Ганцевичи) за последние 30 лет показывает наличие тенденции возрастания температур воздуха.

Факторы, влияющие на урожайность озимых культур, можно условно разделить на две группы: к первой группе относятся плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки и т. д.; ко второй – климатические условия. Тогда урожайность можно представить, как

$$Y(t) = Y_{\phi}(t) \pm \Delta Y(t), \quad (1)$$

где $Y(t)$ – планируемая урожайность в расчетном календарном году, ц/га; $Y_{\phi}(t)$ – фоновая урожайность в том же году; $\pm \Delta Y$ – отклонение фактической урожайности от фоновой, ц/га.

Влияние технологических факторов, таких как плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки с достаточной для практики точностью можно описать многочленом второй степени

$$Y_{\phi}(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (2)$$

где t – календарный год, ц/га; a , b , c – эмпирические коэффициенты.

Уравнение (2) описывает фоновую урожайность, а разность между фактической урожайностью и фоновой составит отклонения, которые определяются, в основном, погодными условиями.

Динамика погодной составляющей урожайности $\pm \Delta Y(t)$ может быть представлена в виде аддитивной функции

$$\Delta Y(t) = u(t) \pm \eta(t), \quad (3)$$

где $u(t)$ – детерминированная функция, $\eta(t)$ – случайная составляющая.

Результаты и их обсуждение

Анализ взаимосвязи урожайности и климатических параметров проводился в два этапа. На первом этапе находились отклонения фактической урожайности от фоновой. На втором – анализ полученных временных рядов и агроклиматических показателей.

В таблице 1 приведены статистические значения фактической урожайности.

Таблица 1 – Статистические значения фактической урожайности озимых культур

Район	Средняя урожайность, ц/га	Стандартное отклонение, ц/га	Коэффициенты R				корреляции
			вариации	регрессии уравнения (1)			
				α	b	c	
Брестский	22,1	11,1	0,50	0,0006	-0,066	2,463	0,80
Ивацевичский	20,7	8,6	0,41	0,0002	-0,0299	1,48	0,84
Пинский	21,0	8,5	0,39	0,0003	-0,04	1,811	0,85
Пружанский	22,1	10,1	0,46	0,0004	-0,044	1,76	0,88
Ганцевичский	18,8	8,7	0,46	0,0004	-0,05	1,998	0,69

Максимум озимых зерновых с 1 га было собрано в Брестском и Пружанском районе (22,1 ц/га), меньше всего урожайность составила – в Ганцевичском районе (18,8 ц/га). Различие урожайности обусловлено плодородием почв.

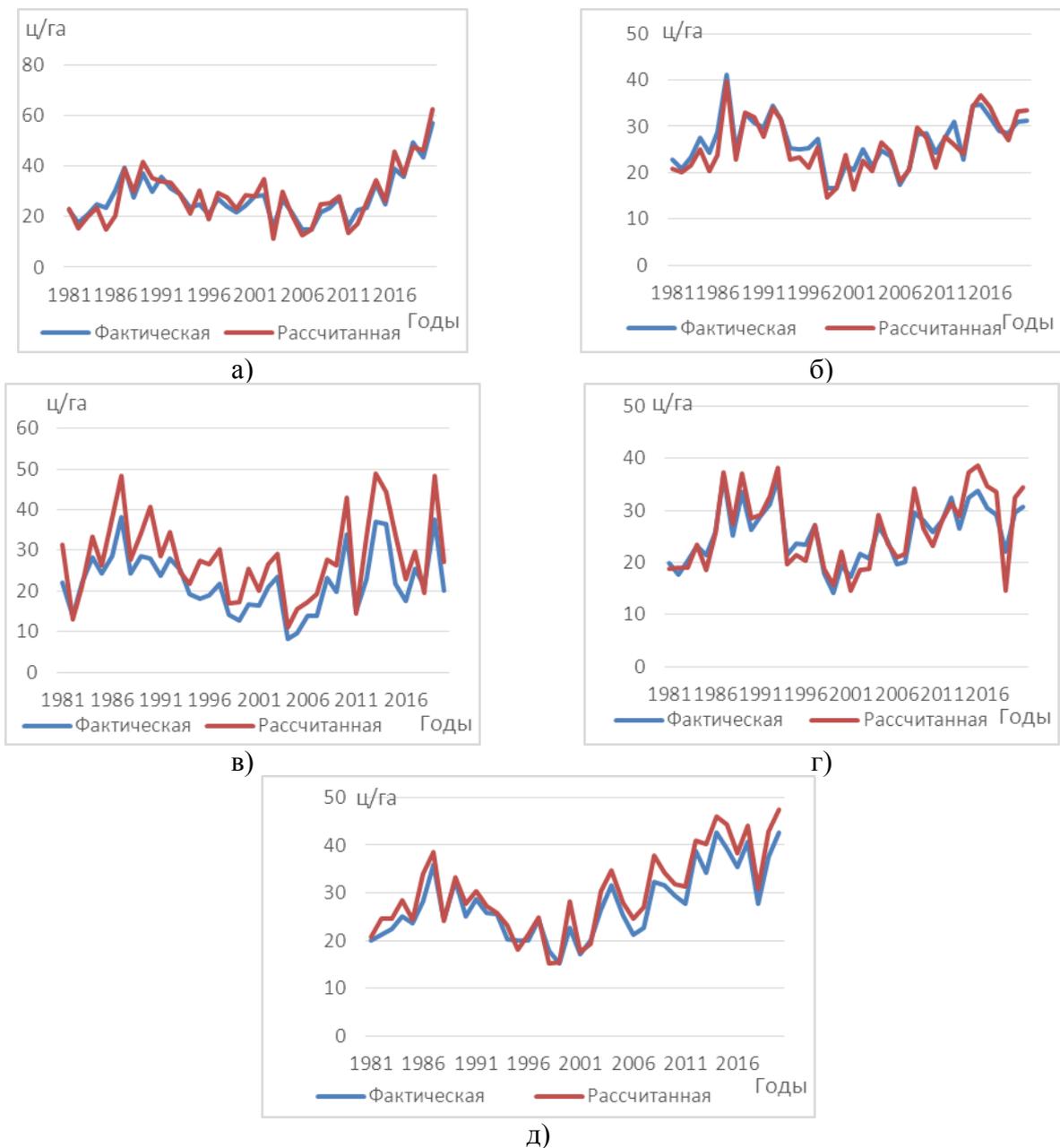
Проведенный регрессионный анализ позволил описать погодную составляющую урожайности озимой ржи полиномом первой степени. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Уравнения детерминированной составляющей урожайности озимой ржи районов Брестской области

Район	Уравнение
Брестский	$u = 0,016 \cdot \Delta P_{11} + 0,059 \cdot \Delta P_2 + 0,526 \cdot \Delta T_{B2} + 0,464 \cdot \Delta T_{П12}$
Пинский	$u = 0,038 \cdot \Delta P_2 + 0,318 \cdot \Delta T_{B2} + 0,162 \cdot \Delta T_{B12} + 0,464 \cdot \Delta T_{П12}$
Ганцевичский	$u = 0,045 \cdot \Delta P_{11} + 0,794 \cdot \Delta T_{B2} - 0,673 \cdot \Delta T_{П2} + 0,879 \cdot \Delta T_{П11}$
Ивацевичский	$u = 0,016 \cdot \Delta P_1 + 2,47 \cdot \Delta T_{B2} + 0,693 \cdot \Delta T_{B12} - 2,197 \cdot \Delta T_{П2}$
Пружанский	$u = 0,054 \cdot \Delta P_1 + 0,555 \cdot \Delta T_{B11} + 0,405 \cdot \Delta T_{П12}$

Где ΔT_s ; ΔT_n , ΔP – отклонение от средней величины температуры воздуха, температуры почвы, атмосферных осадков; индекс – порядковый месяца.

Продуктивность озимых культур обеспечивается, как правило, за счет осенних побегов, а слабо развитые растения дают невысокий урожай даже в случае благоприятной перезимовки. Как видно из таблицы 2, оказывают влияние на урожайность озимой ржи осадки и температуры декабря, января, февраля, которые обуславливают перезимовку растений. В более теплое время происходит образование генеративных органов и определяется полная спелость культуры. Полученные уравнения позволяют описать урожайность озимой ржи в указанных районах. На рисунке 1 приведены наблюдаемые и рассчитанные по уравнениям значения урожайности.



Районы: а) Брестский; б) Пинский; в) Ганцевичский; г) Ивацевичский; д) Пружанский
Рисунок 1 – Фактическая и рассчитанная динамика урожайности в Брестской области

Ошибки расчета урожайности озимой ржи по Брестской области входят в 20–35 %. Таким образом, можно констатировать, что полученная модель адекватно отражает реальную картину урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области.

Смоделированные таким образом ряды урожайности отличаются от фактических меньшей изменчивостью, поэтому при моделировании необходимо в погодные данные вводить случайную составляющую $\eta(P)$. Случайная составляющая моделируется по формуле (3).

Представление о величине случайной составляющей и ее статистических характеристиках полученной как разности между фактической урожайностью и фоновой и погодной составляющей, можно получить из таблицы 3.

Таблица 3 – Статистические характеристики случайной составляющей урожайности

Районы	Обеспеченные величины, ц/га				
	5	10	25	75	95
Озимая рожь					
Брест	6,4	5,3	2,9	-1,82	-8,55
Ганцевичи	12	10,87	8,9	3,32	-0,8
Ивацевичи	4,68	4,34	2,32	-1,48	-3,22
Пинск	2,26	2,15	1,08	-2,157	-4,77
Пружаны	5,8	5,55	3,64	0,61	-1,97

Проанализировав данные, за исследуемый период в каждом районе, выявили благоприятные по урожайности года для исследуемой культуры (таблица 4).

Таблица 4 – Благоприятные года по урожайности Брестской области

Район	Год
Брест	2019–2020
Ганцевичи	1986–1987
Ивацевичи	1986–1987
Пинск	1986–1987
Пружаны	2013–2014

Климатические параметры по районам представлены в таблицах 5–9.

Случайные составляющие вносят определенный вклад и в ряде случаев должны учитываться при моделировании урожайности озимых культур.

Таблица 5 – Климатические параметры за период с 2019–2020 гг., Брестский район

Месяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
значение	26,0	37	37	31	40	22	18	75	151	35	38	47
P, %	65,8	56,1	46,3	58,5	31,7	68,2	85,3	34,1	4,88	90,2	82,9	48,7
Температура воздуха												
значение	11,0	6,3	2,9	1,7	3,0	4,7	8,7	11,9	19,8	19,6	20,6	15,8
P, %	2,44	4,8	7,3	12,2	12,2	21,9	60,9	95,1	7,3	46,3	14,6	4,8
Температура почвы												
значение	10	6	2	1	2	5	12	15	22	24	24	17
P, %	21,9	9,7	7,3	12,2	14,6	21,9	17,0	97,5	53,6	48,7	12,2	26,8

Таблица 6 – Климатические параметры за период с 1986–1987 гг., Ганцевичский район

Месяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
значение	24	36	34	35	17	54	18	43	115	68	71	45
P, %	70,7	68,2	65,8	58,5	90,2	17,0	90,2	73,1	24,3	65,8	29,2	58,5
Температура воздуха												
значение	6,3	3,0	-3,5	-15,6	-3,3	-5,5	5,0	12,6	16,5	17,5	14,3	11,1
P, %	68,2	36,5	73,1	97,5	56,1	97,5	92,6	78,0	51,2	73,1	97,5	82,9
Температура почвы												
значение	6	3	-4	-17	-5	-7	6	14	19	22	17	12
P, %	65,8	26,8	73,1	97,5	63,4	97,5	85,3	87,8	75,6	51,2	92,6	85,3

Таблица 7 – Климатические параметры за период с 1986–1987 гг., Ивацевичский район

Месяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
значение	20	42	38	37	19	49	21	88	93	64	61	50
P, %	82,9	51,2	58,5	53,6	85,3	24,3	82,9	26,8	29,2	58,5	34,1	48,7
Температура воздуха												
значение	7,0	3,3	-2,9	-15,4	-3,0	-4,7	5,3	12,7	16,4	17,7	14,8	11,6
P, %	65,85	34,15	73,17	97,56	56,10	97,56	92,68	82,93	65,85	80,49	97,56	82,9
Температура почвы												
значение	7	3	-3	-16	-4	-6	6	15	20	21	17	13
P, %	56,1	29,2	65,8	97,5	56,1	97,5	85,3	73,1	63,4	70,7	92,6	65,8

Таблица 8 – Климатические параметры за период с 1986–1987 гг., Пинский район

Месяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
значение	14	36	24	34	19	50	26	63	85	71	51	80
P, %	90,2	56,1	85,3	53,6	80,4	21,9	63,4	41,4	41,4	56,1	48,7	26,8
Температура воздуха												
значение	7,1	3,2	-3,0	-15,2	-2,8	-4,4	5,5	13,1	17,0	18,6	15,2	12,0
P, %	65,8	41,4	75,6	97,5	56,1	97,5	92,6	80,4	58,5	63,4	97,5	82,9
Температура почвы												
значение	3	3	-4	-16	-4	-5	7	15	20	23	18	12
P, %	97,5	34,1	75,6	97,5	60,9	97,5	90,2	92,6	68,2	48,7	95,1	87,8

Таблица 9 – Климатические параметры за период с 1986–1987 гг., Пружанский район

Месяцы	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атмосферные осадки												
значение	23	51	22	49	19	16	29	98	50	59	93	25
P, %	65,8	26,8	87,8	21,9	82,9	87,8	58,5	17,0	68,2	70,7	21,9	80,4
Температура воздуха												
значение	9,1	5,1	0,9	-5,3	-0,1	5,9	9,2	13,5	15,5	20,8	18,3	13,5
P, %	19,5	9,7	14,6	78,0	31,7	2,4	21,9	58,5	80,4	14,6	41,4	36,5
Температура почвы												
значение	9	5	0	-5	-2	5	11	17	20	25	22	14
P, %	29,2	12,2	36,5	73,1	36,5	4,8	17,0	53,6	75,6	14,6	24,3	48,7

Заключение

Проведен детальный анализ динамики урожайности озимой ржи Брестской области, что позволило установить основные факторы, определяющие урожайность. Использование методов математического моделирования в прогнозировании урожайности зерновых культур свидетельствует о высокой их эффективности.

Прогнозирование наступления неблагоприятных климатических факторов для урожайности зерновых культур может быть использовано в целях предотвращения ущерба. Для более углубленного изучения влияния факторов на урожайность зерновых и выявления направления их оптимизации был использован метод корреляционного моделирования. Выявлена тенденция повышения температуры воздуха и уменьшения количества атмосферных осадков, а также увеличения засушливых условий за период апрель – июнь, что является неблагоприятным для сельского хозяйства. Для снижения негативных последствий влияния засух необходимо принять комплекс мер по использованию систем орошения.

За последние тридцать лет в Брестской области характеризуется заметное увеличение среднемесячных температур, что сокращает оптимальный для сева период и уменьшает сроки вегетации зерновых культур. Безопасный способ возделывания сельскохозяйственных культур, соблюдение оптимальных сроков посевов, а также своевременное проведение комплексного исследования по оценке воздействия погодных рисков на сельскохозяйственное производство на территории Брестской области.

Список цитированных источников

1. Логинов, В. Ф. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Природные ресурсы, 2006. – № 3. – С. 5–22.

2. Волчек, А. А. Влияние изменения температур холодного периода на урожайность озимых зерновых в Беларуси / А. А. Волчек, Ю. П. Городнюк // материалы Междунар. науч.-практич. конф., 5–6 дек. 2022 г. Хазарский ун-тет, г. Баку. – Баку, Азербайджан, 2023. – С. 209 – 212.

References

1. Loginov V. F., Volchek A. A., Volchek A. A. Assessment of the influence of climatic factors on the dynamics of yield of major crops in the Brest region// Natural Resources, 2006. – No.3. pp. 5-22.

2. Volchek, A. A. The influence of changes in cold period temperatures on the yield of winter cereals in Belarus / A. A. Volchek, Y. P. Haradniuk// International scientific and practical conference Khazar University, Baku, December 5 - 6, 2022. – Baku, Azerbaijan, 2023. – pp. 209-212.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ

А. А. Волчек, д. г. н., профессор, профессор кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: Volchak@tut.by

М. Ф. Кухаревич, магистр, ассистент кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: kukharevichmikhail@gmail.com

С. И. Парфомук, к. т. н., доцент, зав. кафедрой математики и информатики, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: parfom@mail.ru

С. В. Сидак, магистр, старший преподаватель кафедры математики и информатики, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: harchik-sveta@mail.ru

Н. Н. Шешко, к. т. н., доцент, начальник научно-исследовательской части, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: optimum@tut.by

Н. Н. Шпендик, к. г. н., доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: shpendik@tut.by

Реферат

Река Западный Буг – трансграничная река в Восточной Европе. Средний многолетний расход воды в исследуемом створе составляет 80,2 м³/с, а весеннего половодья 1 % обеспеченности – 818 м³/с. Ретроспективный анализ данных аэрофотосъемки за период с 2004 по 2022 гг. позволил установить среднегодовую скорость перемещения береговой линии, которая составила 0,85 м/год.

Создана цифровая модель рельефа местности водосбора и построена детальная модель русла, которая основана на использовании уравнений малой воды и Навье-Стокса. Выделены участки подверженные риску размыва.

В русловой части крепление берегов рекомендуется в виде каменной наброски или каменного мощения. Для пойменной части вблизи двух меандр необходимо предусмотреть крепление в виде каменной наброски с устройством сопрягающего сооружения для пропуска паводковых вод.

Ключевые слова: река, сток, моделирование, размыв, меандрирование, крепление.

MODELING OF THE WESTERN BUG RIVER SHORES EROSION

**A. A. Volchek, M. F. Kukharevich, S. I. Parfomuk,
S. V. Sidak, N. N. Sheshko, N. N. Shpendik**

Abstract

The Western Bug River is a transboundary river in Eastern Europe. The average long-term water discharge in the studied section is 80.2 m³/s, and the spring flood

water discharge of 1% probability is 818 m³/s. Retrospective analyses of aerial photography data for the period from 2004 to 2022 allowed us to establish the average annual coastline movement rate, which was 0.85 m/year.

A digital relief model of the catchment area was created and a detailed channel model was constructed, which is based on the use of low-water and Navier-Stokes equations. Areas at risk of erosion are highlighted.

In the channel part the shore stabilization is recommended in the form of rock fill or stone paving. It is also necessary to provide for stabilization in the form of rock fill with a connecting structure for the passage of flood waters for the floodplain part near two meanders.

Keywords: river, runoff, modeling, erosion, meandering, fastening.

Введение

Река Западный Буг – трансграничная река в Восточной Европе, протекает на территории Украины, Беларуси и Польши. Берет начало на Подольской возвышенности течет через Украину, далее – по границе Беларуси и Польши и впадает в Загжинское водохранилище, а затем – в Вислу. Общая длина реки 772 км, на территории Беларуси – 154 км. В верхнем и нижнем течениях долина реки четко выражена и по ширине не превышает 2–3 км, пойма прерывистая, с многочисленными старицами. На среднем участке долина Западного Буга расширяется до 3–4 км и имеет широкую, низкую, заболоченную пойму. Русло реки на всем ее протяжении извилистое. Оно постепенно расширяется от 10–20 м в верхнем течении до 50–75 м – в нижнем, иногда до 200–300 м. Берега преимущественно пологие и заболоченные, на отдельных участках покрыты лесом [1, 2].

В настоящее время на р. Западный Буг, а также на притоках рр. Мухавец и Лесная действует гидрологический пост в д. Новоселки. Наблюдения ведутся с 1975 года. Для р. Западный Буг характерно смешанное питание с преобладанием грунтового, что вызвано малой мощностью снегового покрова и преобладанием легко проницаемых грунтов. Среднегодовой расход воды на границе Украины и Беларуси составляет 50 м³/с, при выходе за пределы Беларуси – 100 м³/с [3, 4].

Исследование гидроморфологических характеристик, связанных с изменением береговой линии р. Западный Буг, проводилось в рамках ГНТП «Природопользование и экологические риски», по заданию: «Выполнить оценку изменения гидроморфологических, гидрологических и гидрохимических показателей р. Западный Буг и разработать мероприятия по снижению их негативных последствий». В ходе выполнения задания установлено, что значительные изменения береговой линии происходят со стороны правого (белорусского) берега из-за характера течения реки с юга на север и направления вектора силы Кориолиса [5, 6].

Река Западный Буг относится к водным объектам с высоким риском наводнений вследствие весенних половодий и дождевых паводков, в результате которых могут происходить значительные затопления прибрежных территорий, включая пограничную инфраструктуру, сельскохозяйственные угодья и объекты, жилые и иные строения.

Основными факторами, которые приводят к смещению фарватера р. Западный Буг, выступают: абразия (размыв) берегов, прорыв меандров, многорукавность (образование отмелей и островов). Максимальное зафиксированное смещение составило 470 м. В результате проведенных ранее исследований установлено 36 участков р. Западный Буг со значительным (более 100 м) смещением фарватера реки за 35-летний период (1981–2016 гг.). Выявлено 198 участков многорукавности и 93 участка абразии правого берега. При этом величина абразии правого берега на 255 участках составила 3,665 км². Естественные гидроморфологические изменения р. Западный Буг привели как к абразии правого берега (смещения русла вправо), так и к аккумуляции правого берега (смещения русла влево). Величина аккумуляции правого берега на 252 участках составила 4,137 км². Несмотря на то, что общий баланс абразии и аккумуляции правого берега положительный для Беларуси на всем трансграничном участке протекания р. Западный Буг (+47,2 га), следует отметить интенсивную превалирующую абразию правого берега на «верхнем участке» р. Западный Буг от государственной границы «Беларус – Украина» до н. п. Домачево, а также ряд отдельных участков с интенсивной абразией правого берега (более 3 га) на «среднем участке» от н. п. Домачево до г. Бреста и «нижнем участке» от г. Брест до н. п. Крынки [7, 8].

Цель работы – в связи с происходящими процессами береговой эрозии на пограничных участках р. Западный Буг дать гидрологическое обоснование для проведения руслорегулирующих и берегоукрепительных мероприятий.

Исходные данные и методы исследования

Расчетные гидрологические характеристики

Период наблюдений за максимальными уровнями воды весеннего половодья по реке Западный Буг в створе Новоселки и по реке Лесная в створе Тюхиничи составляет 35 лет, с 1988 по 2022 гг. Для выявления особенностей колебаний максимальных уровней воды весеннего половодья рек Западный Буг и Лесная построены разностные интегральные кривые за 1988–2022 гг., которые показывают, что исследуемый период включает интервалы понижения и повышения максимальных уровней воды весеннего половодья, причем с начала XX века находится в положительной фазе – в тенденции повышения, и лишь в последние годы максимальные уровни воды начали снижаться.

Результаты расчетов по определению максимальных уровней воды весеннего половодья обеспеченностью 1, 3, 5 и 10 % по р. Западный Буг в створе Новоселки представлены в таблице 1, которые выполнены с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [9, 10, 11, 12].

Таблица 1 – Максимальные уровни воды весеннего половодья обеспеченностью 1, 3, 5 и 10 % р. Западный Буг – Новоселки

Параметр	Уровень, см	Абсолютный уровень БС, м
Нв. п. P = 1 %	556	124,56
Нв. п. P = 3 %	504	124,04
Нв. п. P = 5 %	479	123,79
Нв. п. P = 10 %	442	123,42

Перенос уровней произведен на основании расчетных величин гидравлических уклонов, соответствующих многоводному периоду с учетом предположения близких гидравлических условий для р. Западный Буг и р. Лесная в многоводный период. Осредненные результаты по двум расчетным точкам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Максимальные уровни воды весеннего половодья обеспеченностью 1, 3, 5 и 10 % р. Западный Буг – исследуемый створ

Параметр	Абсолютный уровень БС, м
Нв. п. P = 1 %	130,87
Нв. п. P = 3 %	130,52
Нв. п. P = 5 %	130,34
Нв. п. P = 10 %	130,08

Для переноса среднеговых уровней использовались данные натурный (разовых измерений) и данные наблюдений за уровнем воды на посту Новоселки принимая предположения, что на дату измерений уровни в исследуемом створе соответствовали многолетнему уровню (126,40). Расчетные уровни в исследуемом створе представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальные уровни воды весеннего половодья обеспеченностью 1, 3, 5 и 10 % р. Западный Буг – исследуемый створ

Параметр	Абсолютный уровень БС, м
Нгод. P = 25 %	126,78
Нгод. P = 50 %	126,58
Нгод. P = 75 %	126,44

В связи с отсутствием данных гидрологических наблюдений за расходами воды по р. Западный Буг в исследуемом створе, нами использованы различные альтернативные методы определения основных гидрологических параметров получены следующие значения среднегодовых расходов воды (таблица 4).

Таблица 4 – Среднегодовые расходы воды реки Западный Буг в исследуемом створе

Параметр	Q, м ³ /с
Qгод. P = 5 %	154
Qгод. P = 10 %	133
Qгод. P = 25 %	106
Qгод. P = 50 %	80,2
Qгод. P = 75 %	58,6
Qгод. P = 90 %	45,9
Qгод. P = 95 %	35,6

Анализ трансформации русла р. Западный Буг

В современной науке широко используются геоинформационные системы. Для ретроспективного анализа пространственного смещения исследуемого

участка русла р. Западный Буг использованы данные дистанционного зондирования в виде снимком в видимом диапазоне с 2004 по 2022 годы. Для собранных растровых данных выполнена пространственная привязка в плоской системе координат Pulkovo_1942_CS63_Zone_C1. В виде линейных векторных объектов сформирована база данных пространственного положения уреза правого берега реки (рисунок 1) [13].



Рисунок 1 – Векторный объект «урез русла»



Рисунок 2 – Анализ смещений береговой линии участка русла реки (2004–2022 гг.)



Рисунок 3 – Анализ смещений береговой линии участка русла реки (2004–2022 гг.)



Рисунок 4 – Анализ смещений береговой линии участка русла реки (2012–2022 гг.)

С использованием методики, разработанной авторами и детально описанной в работе [14, 15], выполнен анализ смещения положения русла и трансформации извилистости. Кроме того, в качестве основы для выполнения исследований была использована разработанная пространственная модель русла. Результаты обработки цифровой информации представлены на рисунках 2–4.

Таким образом, проведенный анализ позволил зафиксировать изменение береговой линии во времени на исследуемом участке, что свидетельствует о целесообразности проведения берегоукрепительных работ с целью предупреждения подмыва течением берега и, как следствие, формирование нового русла [16].

Для обработки данных дистанционного зондирования использован показатель скорости процесса перемещения береговой линии, который представляет собой отношение правых/левых площадей, образующихся пересечением векторного объекта береговой линии в начальный и конечный момент времени, к длине исследуемого участка реки и времени протекания данных процессов. Таким образом, получены следующие результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет скорости трансформации береговой линии р. Западный Буг

Период времени, годы	Сумма правых площадей, м ²	Сумма левых площадей, м ²	Длина участка, м	Скорость трансформации в виде размыва, м/год	Скорость трансформации в виде отложений, м/год
2004–2012	17372,16	12611,67	2400	0,90	0,66
2012–2022	20951,33	7166,72	2485	0,84	0,29
2004–2022	36723,95	18178,84	2400	0,85	0,42

Как видно из данной таблицы скорость протекания данных процессов для отдельных интервалов времени незначительно отличается, в первую очередь это касается скорости формирования новой береговой линии за счет отложений. Однако, значительный интерес с точки зрения прогноза возникновения негативных последствий имеет процесс размыва, который для обоих интервалов времени сопоставим. В дальнейших исследованиях принята скорость пространственной деформации береговой линии равной 0,85 м/год.

Используя данные натурных измерений поперечного сечения русла выполнен прогноз изменений в вертикальной плоскости поперечного сечения. Принимая что при меандрировании русла реки осредненные параметры поперечного сечения русла остаются неизменными составили графическую модель деформации (рисунок 5).

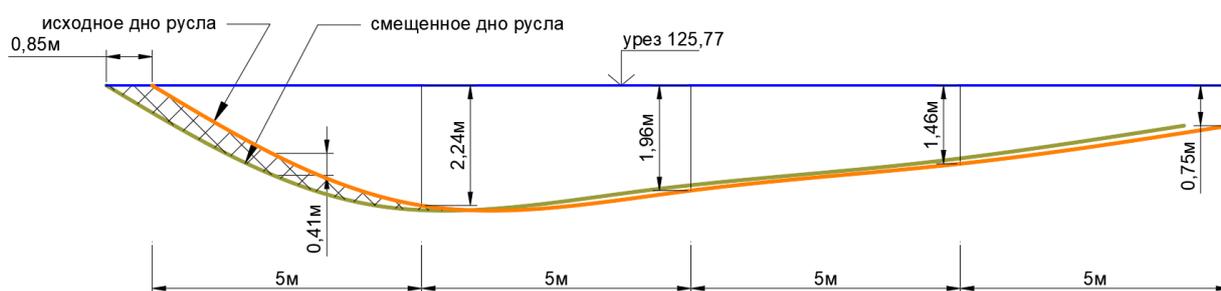


Рисунок 5 – Графическая модель деформации исследуемого участка русла р. Западный Буг

Как видно из рисунка 5, средняя глубина годового размыва составит 0,41 м.

Разработка цифровых моделей рельефа участка реки

ГИС обеспечение ArcGis и его набором инструментов ArcToolbox, а также инструменты среды гидравлического моделирования MIKE 3 [17, 18, 19].

В качестве картографических основ использованы следующие растровые слои различных масштабов:

- растровая топографическая карта;
- растровая карта вебсервиса Open street maps;
- растровые снимки дистанционного зондирования земли (maps.googleapis.com; Bing.map и др);
- данные геодезических изысканий, представленных заказчиком;
- данные эхолотных изысканий глубины реки в пределах исследуемого участка, представленных заказчиком.

В качестве исходной цифровой карты рельефа для вычисления водосборной площади реки в расчетном створе использовались данные портала usgs.gov.

В пределах исследуемого участка доступны 30 растровых данных о высотных отметках местности, с разрешением одна угловая минута [20].

Разрешение цифровой модели рельефа составило 30 м на 38 м. Используя алгоритмы приложения ArcGIS произведен расчет площади водосбора реки Западный Буг в исследуемом створе, которая составила 24865501221 м².

В качестве основы модели русла использована нерегулярная сетка с настраиваемым размером ячеек. Так, для русловой зоны в пределах данных эхолокационной съемки максимальный размер сетки составлял не более 50 кв. м, для прирусловой зоны – 70 кв. м, для пойменной части – 400 м². Для формирования общих границ области модели составлены дуги с заданными параметрами дуги.

Узлы модельной сетки проверялись на критерий равномерности (равнобедренности) и в случае низкого качества проводилась корректировка сетки. Методом интерполяции «Естественная окрестность» без экстраполяции. Таким образом получили модель участка русла и пойменной части.

Общее описание гидродинамической модели движения водных масс

Уравнения малой воды представляют собой систему гидродинамических уравнений, адаптированных для моделирования течений воды в условиях невысоких глубин. В контексте данной работы, уравнения малой воды играют ключевую роль, обеспечивая точное и эффективное моделирование движения водных масс в речных системах и прибрежных зонах.

Уравнения Навье – Стокса представляют собой полные уравнения гидродинамики, описывающие движение жидкости. В контексте гидродинамического моделирования для водных систем они записываются как [21, 22, 23]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + g + \nu \nabla^2 u; \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0, \quad (2)$$

где h – вектор скорости, u – вектор скорости, ρ – плотность жидкости, p – давление, g – ускорение свободного падения, ν – кинематическая вязкость.

Уравнения малой воды представляют собой упрощенный вариант уравнений Навье – Стокса, применяемый в случае невысоких глубин. Основное отличие заключается в том, что уравнения малой воды учитывают вертикальное распределение давления, что делает их более подходящими для моделирования течений в реках и прибрежных зонах.

В уравнениях малой воды:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = P - E - R; \quad (3)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial x} + Tbx; \quad (4)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + Tby, \quad (5)$$

где h – глубина воды, u и v – компоненты скорости по горизонтали и вертикали соответственно, P – приход влаги, E – испарение, R – сток, g – ускорение свободного падения, Tbx и Tby – компоненты момента сил трения по горизонтали и вертикали.

Выбор уравнений малой воды обосновывается необходимостью учета особенностей гидродинамических процессов в речных системах и прибрежных зонах. Уравнения малой воды предоставляют адекватное описание движения воды при невысоких глубинах, что часто встречается в данных условиях [24, 25].

Сравнительный анализ уравнений позволяет выделить их применимость в различных сценариях моделирования, и уравнения малой воды становятся предпочтительным выбором для данной работы, обеспечивая баланс между точностью и вычислительной эффективностью в условиях ограниченных глубин.

Методология разработки

Первоочередным этапом разработки программы явилось определение целей и задач. Это включало в себя определение области применения программы, конечных пользователей и ожидаемых результатов. Целью явилось создание инструмента, способного моделировать движение водных масс в речных системах с высокой точностью.

После определения целей проводился анализ доступных технологий и инструментов для разработки программы.

Проектирование архитектуры программы включало в себя определение структуры данных, выбор методов численного анализа, и интеграцию с интерфейсом MIKE 3. Архитектура программы обеспечила эффективное выполнение численных расчетов и легкость внедрения в существующую среду MIKE 3 [17, 18].

На этапе реализации математической модели написаны алгоритмы, основанные на уравнениях малой воды. Используемые численные методы для решения дифференциальных уравнений, обеспечивают стабильность и точность расчетов.

Интеграция программы с MIKE 3 потребовала взаимодействия с API и техническими спецификациями MIKE 3. Это включало в себя корректную передачу данных между программой и платформой MIKE 3, а также обеспечение соответствия стандартам и требованиям MIKE 3.

Тестирование программы проводилось на различных тестовых сценариях, включая различные гидродинамические условия и географические особенности. Отладка включала в себя исправление выявленных ошибок и оптимизацию производительности.

После завершения разработки, программа подвергалась валидации и калибровке. Этот этап включал в себя сравнение результатов моделирования с реальными данными и регулировку параметров модели для достижения оптимального соответствия реальным условиям.

Весь процесс разработки документирован, включая описание архитектуры, методов решения, и технической документации по интеграции с MIKE 3. Это обеспечило понимание и поддержку программы.

Реализация программы

Для реализации программы выбран язык программирования, обеспечивающий эффективные вычисления и удобное взаимодействие с существующей средой MIKE 3. В результате выбора был сделан в пользу Python/C++, обеспечивающего гибкость и высокую производительность [20].

Для ускорения разработки и обеспечения стабильности программы использованы соответствующие библиотеки и фреймворки. Это включало в себя библиотеки для численных вычислений, обработки данных и взаимодействия с интерфейсом MIKE 3.

Программа разрабатывалась с учетом модульной архитектуры, позволяющей легкость в поддержке и дальнейшем расширении. Модули включали в себя основные вычислительные блоки, интерфейс взаимодействия с MIKE и компоненты для обработки входных и выходных данных.

Решение системы уравнений малой воды реализовано с использованием численных методов. Выбирались подходящие методы для численного интегрирования и решения дифференциальных уравнений, обеспечивая стабильность и точность расчетов.

Для успешной интеграции программы с MIKE осуществлялось во взаимодействие с API. Это включало передачу данных о гидродинамической модели между программой и MIKE, а также управление процессами моделирования через интерфейс MIKE.

Программа предоставляет средства визуализации результатов моделирования. Это включает графическое отображение траекторий движения водных масс, изменения глубины воды, и других параметров, позволяя пользователям наглядно оценить результаты.

Весь процесс разработки сопровождался документированием, включая техническую документацию по API MIKE 3, руководства пользователя и инструкции по установке. Это обеспечивает прозрачность в использовании программы и облегчает процесс внедрения.

После успешного завершения всех этапов тестирования и устранения неполадок, программа готова к завершающему этапу внедрения.

Параметры модели

Настройка параметров модели осуществлялась на основе калибровочных данных в виде максимального расхода весеннего половодья 50 % расчетной обеспеченности.

Настройка проводилась при отсутствии влияния планируемых к возведению оградительных дамб.

Настройка проводилась при следующих параметрах: среднегодовой сток р. Западный Буг в исследуемом створе 80,2 м³/с, отметка во входном сечении 126,58 м БС, гидравлический уклон 0,122 %. Используя данные параметры модели, производилась настройка естественной шероховатости русла реки.

В модели учитывалось влияние ускорения Кориолиса, а также неравномерность модельной сетки.

Полученные результаты и их анализ

Анализ результатов моделирования

Расчеты проводились с применением серверного вычислительного оборудования БрГТУ и позволили построить картину пространственного временных закономерностей уровней свободной поверхности потока, а также поля скоростей. Общее пространственно-временное разрешение модели 371000 ячеек с 100–200 временными интервалами при 10–20 слоях вертикальной сетки. Таким образом, максимальное количество расчетных ячеек 1484 млн и, соответственно, то же количество уравнений в системе. Настройка осуществлялась за счет корректировки параметров шероховатости русла, а также структуры и параметров расчетной сетки. Количество временных интервалов корректировалось с целью достижения установившегося режима, как видно на рисунке 6, как правило, стабилизация наблюдалась на 80–90 временном шаге.

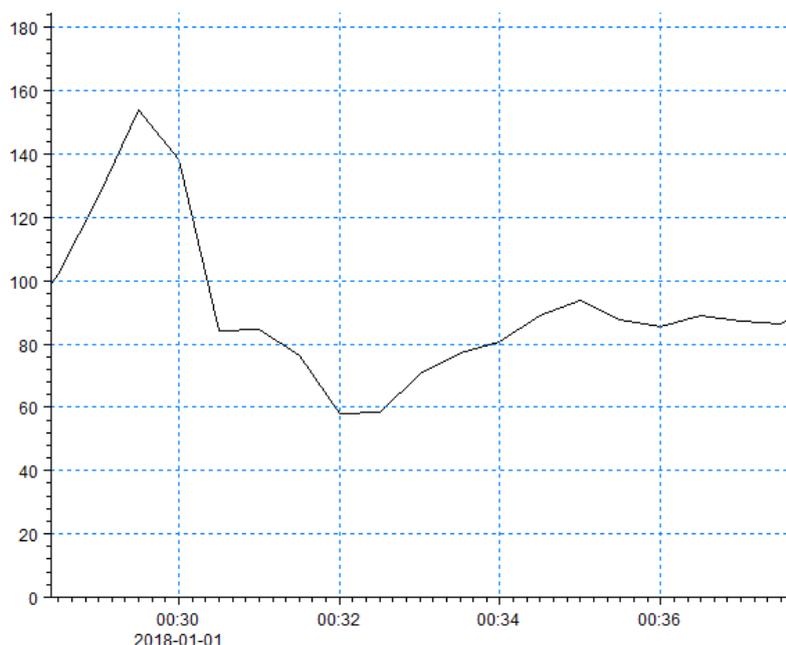


Рисунок 6 – Изменчивость расхода в расчетном створе во времени

Общие результаты моделирования для четырех расчетных расходов и уровней приведены на рисунках 7–9.

Анализируя полученные результаты, можно выделить участки подверженные риску размыва, а именно прибрежная/береговая зона по правому берегу в районе излучины как перед ней, так и после нее. Второй участок относится к пойменной зоне, затопление которой происходит в период весеннего половодья соответствующий максимальному сближению меандр русла. Расчетные скорости и участки, рекомендуемые к креплению, представлены на рисунке 10.

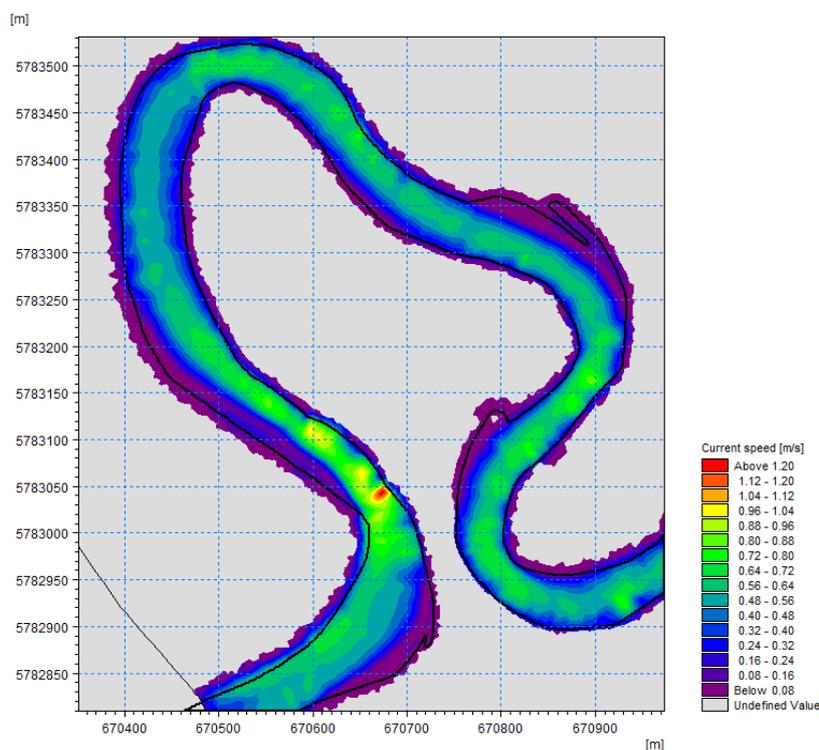


Рисунок 7 – Поле скоростей при среднегодовом расходе 25 % обеспеченности

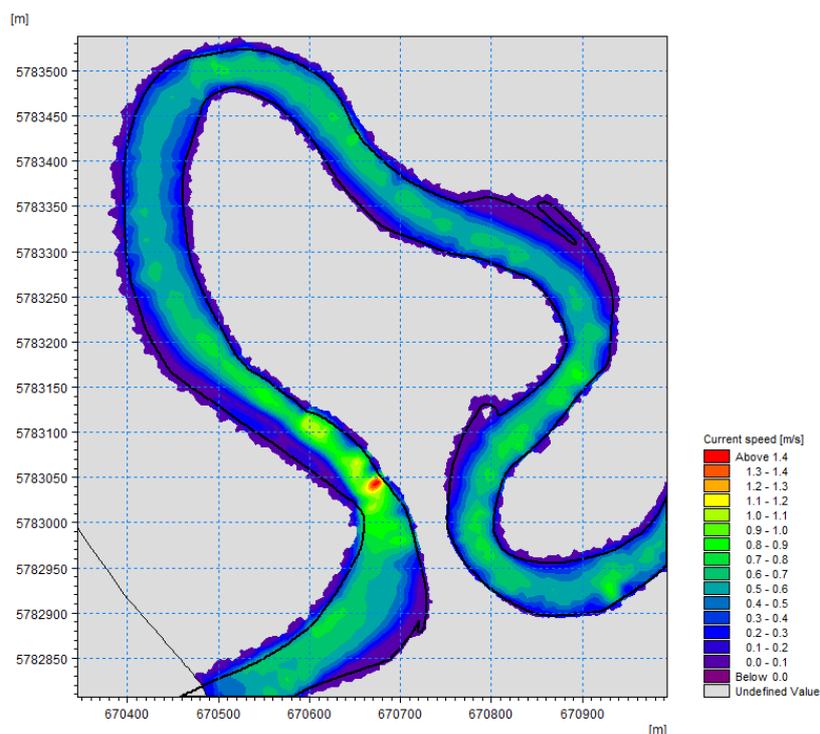


Рисунок 8 – Поле скоростей при среднегодовом расходе 50 % обеспеченности

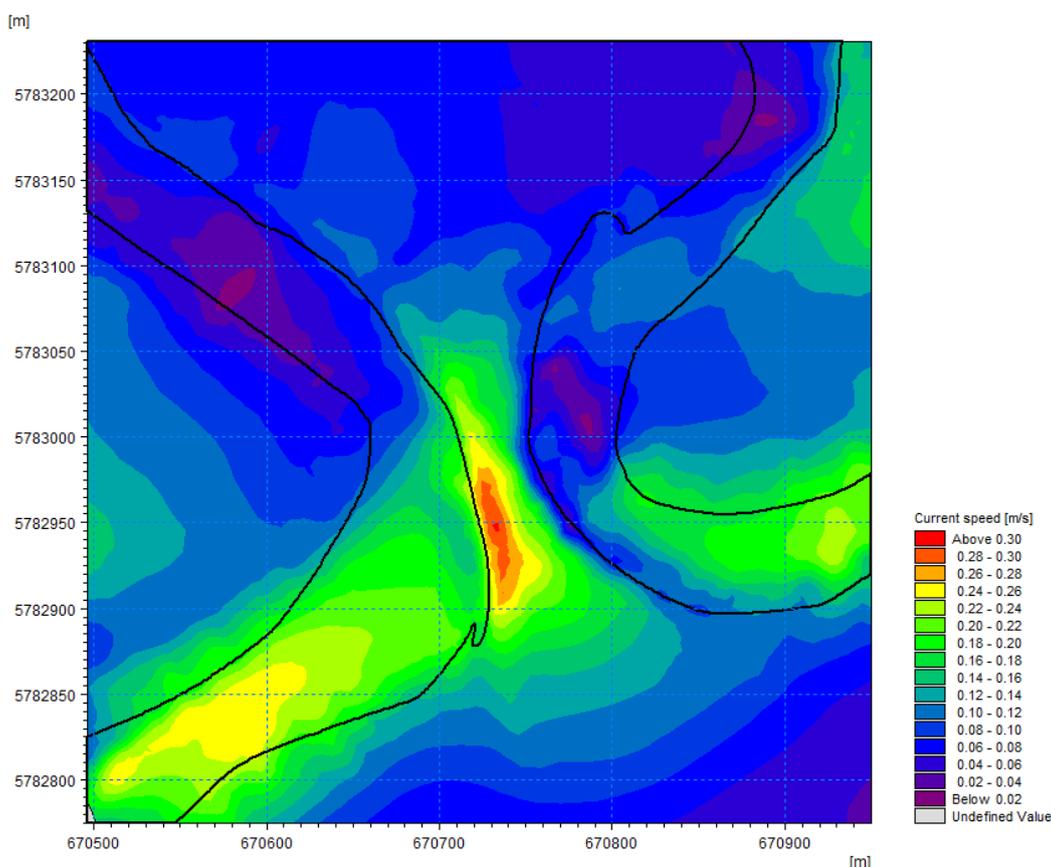


Рисунок 9 – Поле скоростей при расходе весеннего половодья 10 % обеспеченности

Так как полученные в результате моделирования скорости не превышают 2 м/с в русловой части, рекомендуемым методом крепления является каменная наброска или каменное мощение. Для пойменной части вблизи двух меандр также необходимо предусмотреть крепление в виде каменной наброски

с устройством сопрягающего сооружения для пропуска паводковых вод. Размеры сооружения и параметры крепления определить проектом исходя из фактических геологических условий, устойчивости к размыву и доступности применимых материалов.

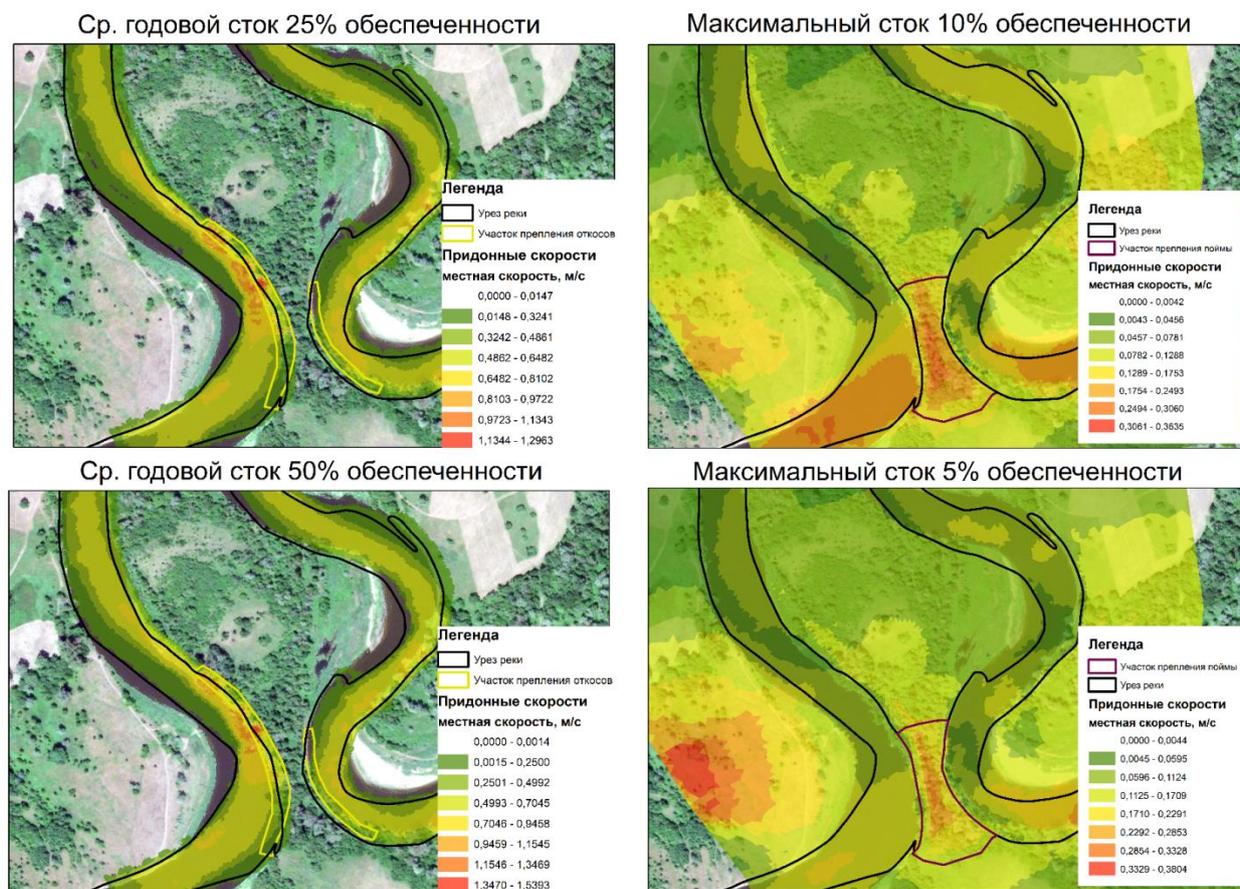


Рисунок 10 – Настройка гидродинамической модели

Береговые укрепления

Выбор типа укрепления берегов производится при соблюдении условий технической целесообразности и экономической выгоды. Рекомендуется использовать строительный материал, имеющийся на месте работ или в ближайшем районе. Техническая целесообразность заключается в том, чтобы прочность конструкции берегоукрепительных работ соответствовала тем силам, которым она должна противостоять. Известный своими работами во Франции инженер Фарг установил прямую зависимость между кривизной берега и глубиной реки у него, т. е. степенью его подмыва течением. Следует также учитывать, что нижняя часть откоса берега по высоте от подошвы до горизонта средне-низких меженных вод постоянно находится под водой и подвергается непрерывному подмывающему действию речного потока. Часть откоса от горизонта средне-низких меженных вод до горизонта самых высоких вод подвергается периодическому размывающему действию потока, разрушительному действию движущегося около берегов льда, влиянию атмосферных и грунтовых вод, зимой – действию мороза и, наконец, частично разрушается протаптыванием его животными и людьми. Выше горизонта самых высоких вод берег подвергается действию лишь атмосферных вод и мороза и протаптыванию животными и людьми. Особое внимание должно быть уделено защите нижней части

откоса от подошвы его до горизонта средне-низких меженных вод, так как разрушение этой части откоса вызывает обвал всей вышерасположенной его части. Часть берегового откоса от последнего горизонта до горизонта самых высоких вод прежде всего срезают и планируют под определенный уклон – от полуторного до тройного в зависимости от характера грунта, из которого состоит берег. Для грунтов более слабых принимают более пологий откос. По спланированному откосу устраивают тот или другой тип покрытия в зависимости главным образом, от величины весенних скоростей течения и мощности весеннего ледохода.

Различают береговые укрепления активного и пассивного действия. Первые заметно влияют на структуру потока в районе берега, а вторые – только защищают береговой откос от размыва.

Береговые покрытия могут быть сплошными, закрепляющими весь береговой откос от размыва, и ленточными, которые покрывают от размыва отдельные по длине части речного откоса.

Расчеты береговых покрытий включают в себя следующие разделы [26, 27]:

- оценка устойчивости покрытия на воздействие течения;
- определение длины и ширины покрытия;
- расчет крупности камня и толщины бетонных плит в надводной части сооружения;
- определение толщины пригрузки камнем в подводной части откоса.

Береговые откосы и укрепления на них, прежде всего, нужно проверять на устойчивость от воздействия скорости течения в районе укрепляемого берега. Для определения скоростей течения во вдольбереговой струе строятся натурные или расчетные планы течения на участке реки при среднемеженном и среднепаводковом расходах воды. Если пойма реки на участке затапливается в половодье, то за расчетный высокий уровень воды принимается уровень пойменных (меженных) бровок. По данным о гранулометрическом составе грунта, слагающего береговой откос, и по нормативным материалам устанавливаются допускаемые (неразмывающие) скорости течения при расчетных уровнях воды. В зависимости от состава грунтов, слагающих откос, в соответствии с нормативными требованиями устанавливается также допустимое заложение берегового откоса при его укреплении.

Сравнение фактических скоростей течения с допускаемыми позволяет оценить устойчивость берегового откоса при воздействии на него течения воды, и, при необходимости, выбрать соответствующее береговое укрепление. Длина зоны крепления берегового откоса устанавливается на основе сопоставленных и совмещенных планов участка за многолетний период и планов течения при характерных уровнях воды.

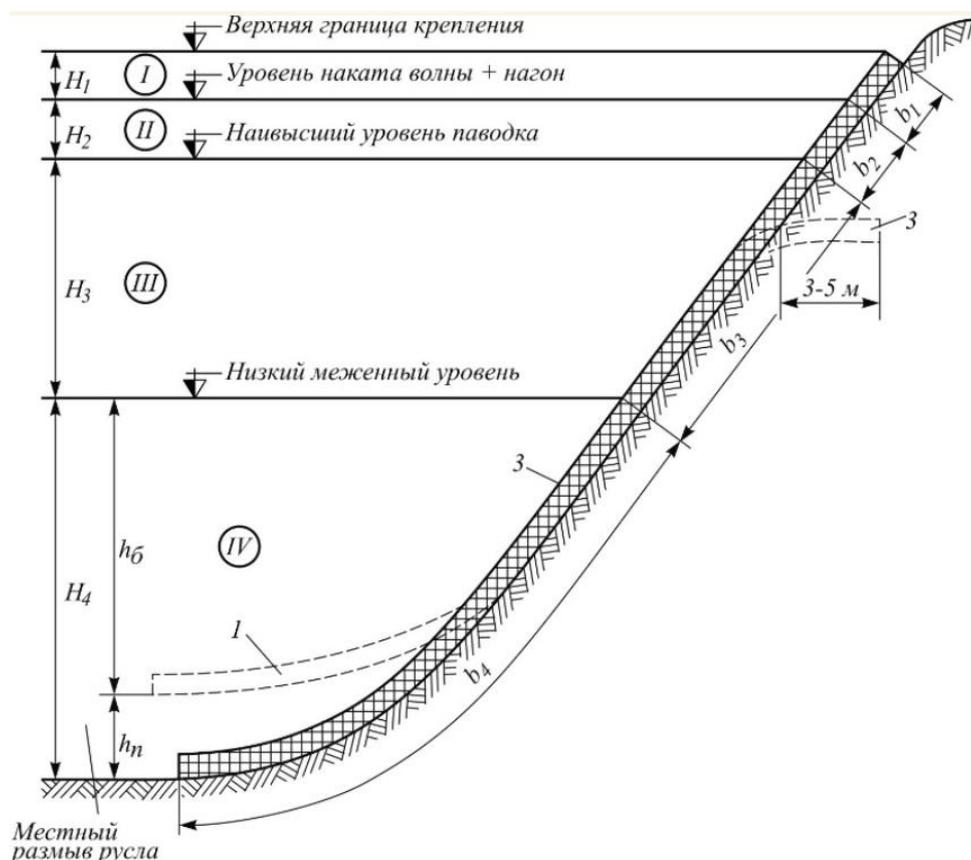
Для определения ширины укрепления береговой откос разбивается на четыре зоны: I – зону надводного откоса; II – зону наката волн и ветровых нагонов; III – зону переменных уровней; IV – зону подводного откоса (ниже низких межженных уровней воды). Расчетная схема разбивки берегового откоса на зоны показана на рисунке 11.

Ширина укрепления в каждой зоне и размер крупности камня для крепления надводного откоса определяется расчетом. Нижняя граница защищаемого

участка, как правило, располагается в зоне пересечения плоскости откосов и склонов с их подошвой. В случае, если максимальные донные скорости превышают допустимые значения неразмывающих донных скоростей, в конструкции берегозащитного сооружения необходимо предусматривать противоразмывной фартук в виде гибкого матраса, каменной наброски и т. п. Глубину размыва следует устанавливать по данным натуральных наблюдений или определять на основании расчета.

Для подбора наиболее эффективного типа берегозащитного сооружения для конкретного участка и правильного назначения его параметров необходимо выполнять подробные гидрологические исследования режима реки, результаты которых должны содержать следующие данные:

- длину и источники питания реки, площадь ее водосборного бассейна;
- ширину и глубину руслового потока, его уклон;
- характер берегов и тип руслового процесса на исследуемом участке реки, оценку характера глубинных и плановых деформаций русла и поймы;
- скорости течения, расход и отметки уровня реки в межень и в паводки, их повторяемость и обеспеченность;
- характеристику паводков, их интенсивность и продолжительность, границы затопления местности;
- данные о высоте, длине, периоде и обеспеченности ветровых волн;
- продолжительность ледоходов, а также данные о толщине и плотности ледяного покрова.



1 – первоначальное положение подводной части покрытия; 2 – береговое покрытие;
3 – укрепление горизонтального участка низкого (затопляемого) берега
Рисунок 11 – Схема к расчету берегового укрепления (покрытия)

Сопоставление и выбор оптимальных конструкций должны сопровождаться соответствующими технико-экономическими обоснованиями, при разработке которых следует учитывать степень целесообразности и эффективности проектно-строительных решений различных вариантов. Технические и технологические решения конкретного варианта должны содержать оценки экономического, социального и экологического эффектов при его осуществлении.

Заключение

Ретроспективный анализ данных аэрофотосъемки за период с 2004 по 2022 гг. на основе динамики пространственной деформации русла реки позволил установить среднегодовую скорость перемещения береговой линии, которая составила 0,85 м/год. При условии сохранения общего поперечного сечения русла и установленной прогнозной скорости смещения определена величина размыва русла в вертикальной плоскости (0,41 м/год).

По результатам натурных исследований и дистанционного зондирования создана цифровая модель рельефа местности водосбора р. Западный Буг в исследуемом створе, а по данным геодезических изысканий и эхолотной съемки построена детальная модель русла исследуемого участка. Средне многолетний расход воды в исследуемом створе р. Западный Буг составил 80,2 м³/с, а весеннего половодья 1 % обеспеченности – 818 м³/с. Определение расчетных уровней осуществлялось на основе естественного гидравлического уклона.

Разработанная гидравлическая модель исследуемого участка русла основана на использовании двух зависимостей: уравнение малой воды и уравнение Навье – Стокса. Выбор метода осуществлялся на основе данных о сходимости при вычислении матрицы коэффициентов системы уравнений. Модель включала от 10 до 20 слоев расчетной сетки по вертикали. Выделены участки подверженные риску размыва, а именно прибрежная/береговая зона по правому берегу в районе излучины, как перед ней, так и после нее. Второй участок относится к пойменной зоне, соответствующей максимальному сближению меандр русла, затопление которой происходит в период весеннего половодья.

В русловой части крепление берегов рекомендуется в виде каменной наброски или каменного мощения, так как скорости течения не превышают 2 м/с. Для пойменной части вблизи двух меандр необходимо предусмотреть крепление в виде каменной наброски с устройством сопрягающего сооружения для пропуска паводковых вод.

Список цитированных источников

1. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. центр БГУ, 2002. – 436 с.
2. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
3. Проект Плана управления бассейном р. Западный Буг. – Минск, 2016. – 54 с.
4. Корнеев, В. Н. Оценка изменения гидроморфологических, гидрологических и гидрохимических показателей реки Западный Буг и мероприятия по снижению их негативных последствий / В. Н. Корнеев [и др.] // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – 2021. – № 1 (124). – С. 90–95.
5. Пеньковская, А. М. Влияние гидроморфологических изменений в речной сети на экологический статус водных объектов бассейна реки Западный Буг / А. М. Пеньковская, Е. Н. Попова, И. А. Булак // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 24–29.

6. Пеньковская, А. М. Экологическое состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственные проблемы и мероприятия, направленные на их решение в бассейне реки Западный Буг / А. М. Пеньковская, Е. Н. Попова. – Минск : ЦНИИКИВР, 2015. – С. 226–228.
7. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.
8. Волчек, Ан. А. Затопления на территории Беларуси / Ан. А. Волчек // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2017. – № 2. – С. 39–53.
9. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А. А. Волчек, С. И. Парфомук / Веснік Палескага дзярж. ун-та. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.
10. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учеб.-метод. пособие / А. А. Волчек, П. С. Лопух, Ан. А. Волчек. – Минск : БГУ, 2019. – 316 с.
11. Желязняков, Г. В. Точность гидрологических измерений и расчетов / Г. В. Желязняков, Б. Б. Данилевич. – Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – 240 с.
12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
13. Волчек, А. А. Геоинформационная система гидрографической сети водосбора р. Западный Буг / А. А. Волчек, В. Соболевски, Н. Н. Шешко // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. Серия: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2009. – № 2. – С. 2–8.
14. Волчек, А. А. Трансформация гидрографической сети малых рек водосбора р. Припять в пределах природно-территориального комплекса национального парка «Припятский» / А. А. Волчек, О. П. Мешик, Н. Н. Шешко // Прыроднае асяроддзе Палесся : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі ; рэдкал. : М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2014. – Вып. 7. – С. 11 – 14.
15. Волчек, А. А. Учет разовых гидрометрических измерений при определении основных гидрологических характеристик и параметров русла / А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века : материалы 11-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2011 г., г. Минск / под ред. С. П. Кундаса, С. С. Позняка. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – С. 237–238.
16. Макаревич, А. А. Речной сток и русловые процессы : пособие / А. А. Макаревич, А. Е. Яротов. – Минск : БГУ, 2019. – 115 с.
17. DHI. MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module Scientific Documentation. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products> (date of access: 30.07.2024).
18. DHI. MIKE 3 Sediment Transport Module ST – Scientific Documentation. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com> (date of access: 01.07.2024).
19. Курушин, А. А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL / А. А. Курушин. – М. : One-Book. – 2016. – 376 с.
20. Косицин, Д. Ю. Язык программирования Python: учеб.-метод. пособие / Д. Ю. Косицин. – Минск: БГУ, 2019. – 136 с.
21. Александров, Д. В. Введение в гидродинамику: учеб. пособие / Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. – Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2012. – 112 с.
22. Анкудинов, В. Е. Компьютерное моделирование процессов переноса и деформаций в сплошных средах : учеб. пособие / В. Е. Анкудинов, Д. Д. Афлятунова, М. Д. Кривилев, Г. А. Гордеев. – Ижевск : Изд-во Удмуртского ун-та, 2014. – 108 с.
23. Колесниченко, В. И. Введение в механику несжимаемой жидкости : учеб. пособие / В. И. Колесниченко, А. Н. Шарифулин. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 127 с.
24. Калугин, А. С. Математическое моделирование движения паводочной волны при использовании исходной информации различной детальности / А. С. Калугин, И. Н. Крыленко // Водное хозяйство России. – 2014. – № 3. – С.138–145.
25. Мележ, Т. А. Инженерно–геологическая оценка экзодинамических режимов долины реки Припять и прилегающих территорий / Т. А. Мележ, А. И. Павловский // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2015. – № 3 – С. 122–124.

26. Михневич, Э. И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов / Э. И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития : сб. науч. трудов : вып. 1 : в 2 т. / Водные ресурсы Полесья. – Брест : Альтернатива, 2008. Т. 2. – С. 38–41.

References

1. Volchek, A. A. Vodnye resursy Brestskoj oblasti / A. A. Volchek, M. Ju. Kalinin. – Minsk: Izdatel'skij centr BGU, 2002. – 436 s.
2. Loginov, V.F. Vodnyj balans rechnyh vodosborov Belarusi / V.F. Loginov, A.A. Volchek. – Minsk: Tonpik, 2006. – 160 s.
3. Proekt Plana upravlenija bassejnom r. Zapadnyj Bug. – Minsk, 2016. – 54 s.
4. Ocenka izmenenija gidromorfologicheskikh, gidrologicheskikh i gidrohimičeskikh pokazatelej reki Zapadnyj Bug i meroprijatija po sniženiju ih negativnyh posledstvij / V. N. Korneev [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2021. – № 1 (124). – S. 90–95.
5. Pen'kovskaja, A. M. Vlijanie gidromorfologicheskikh izmenenij v rechnoj seti na jeko-logičeskij status vodnyh ob#ektov bassejna reki Zapadnyj Bug [Jelektronnyj resurs] / A. M. Pen'kovskaja, E. N. Popova, I. A. Bulak // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo, teplojenergetika i geojekologija. – 2016. – № 2. – S. 24–29.
6. Pen'kovskaja, A. M. Jekologičeskoe sostojanie poverhnostnyh vodnyh ob#ektov, vodohozjajstvennyje problemy i meroprijatija, napravlennye na ih reshenie v bassejne reki Zapadnyj Bug / A. M. Pen'kovskaja, E. N. Popova. – Minsk: CNIKIIVR, 2015. – S. 226–228.
7. Mihnevich, Je.I. Levkevich, V.E. Ustojčivost' beregov vodohranilishh pri formirovani-i profilja dinamicheskogo ravnovesija v nesvjaznyh gruntah// Melioracija. – 2016. – №4(78) – S 18 – 23.
8. Volchek, An. A. Zatoplenija na territorii Belarusi [Jelektronnyj resurs] / An. A. Volchek // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo, teplojenergetika i geojekologija. – 2017. – № 2. – S. 39–53.
9. Volchek, A.A. Paket prikladnyh programm dlja opredelenija raschetnyh harakteristik rechnogo stoka // A.A. Volchek, S.I. Parfomuk / Vesnik Paleskaga dzhzjarzhaýnaga universitjeta. Seryja pryrodaznaýchyh navuk. – 2009. – №1. – S. 22–30.
10. Volchek, A.A. Hidrologičeskie rasčety : ucheb.-metod. posobie // A.A. Volchek, P.S. Lopuh, An.A. Volchek. – Minsk : BGU, 2019. – 316 s.
11. Zheljaznjakov G.V. Točnost' gidrologičeskikh izmerenij i raschetov / G.V. Zheljaznjakov, B.B. Danilevich. – L.: Gidrometeorologičeskoe izd-vo, 1966. – 240 s.
12. Raschetnye gidrologičeskie harakteristiki. Porjadok opredelenija. Tehničeskij kodeks ustanovivshejsja praktiki TKP 45-3.04-168-2009(02250). – Minsk: RUP «Stroj-tehnorm», 2010. – 55 s.
13. Volchek, A. A. Geoinformacionnaja sistema gidrografičeskaj seti vodosbora r. Zapadnyj Bug / A. A. Volchek, V. Sobolevski, N. N. Sheshko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo i teplojenergetika. – 2009. – № 2. – S. 2–8.
14. Volchek, A.A. Transformacija gidrografičeskaj seti malyh rek vodosbora r. Pripjat' v predelah prirodno-territorial'nogo kompleksa nacional'nogo parka «Pripjatskij» / A.A. Volchek, O.P. Meshik, N.N. Sheshko // Pryrodnae asjaroddze Palessja: zb. navuk. prac / Paleski agrarnajekalagichny instytut NAN Belarusi; rjedkal. M.V. Mihal'chuk (gal. rjed.) [i insh.]. - Brjest; Al'ternativa, 2014. - Vyp. 7. – S. 11 – 14.
15. Volchek, A.A. Uchet razovyh gidrometričeskikh izmerenij pri opredelenii osnovnyh gidrologičeskikh harakteristik i parametrov rusla/ A.A. Volchek, N.N. Sheshko // Sa-harovskie čtenija 2011 goda: jekologičeskie problemy XXI veka : materialy 11-j mezh-dunar. nauch. konf., 19–20 maja 2011 g., g. Minsk, Respublika Belarus' / pod red. S. P. Kundasa, S. S. Poznjaka. – Minsk : MGJeU im. A. D. Saharova, 2011. – S. 237–238.
16. Makarevich, A. A. Rechnoj stok i ruslovyje processy : posobie / A. A. Makarevich, A. E. Jarotov. – Minsk : BGU, 2019 – 115 s.
17. DHI. MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module Scientific Documentation [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>. – Data dostupa: 30.07.2024.

18. DHI. MIKE 3 Sediment Transport Module ST - Scientific Documentation [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.mikepoweredbydhi.com>. – Data dostupa: 01.07.2024.
19. Kurushin A.A. Reshenie mul'tifizicheskikh SVCh zadach s pomoshh'ju SAPR COMSOL – M., «One-Book», 2016. – 376 s.
20. Kosicin, D. Ju. Jazyk programmirovaniya Python: ucheb.-metod. posobie / D. Ju. Kosicin. – Minsk: BGU, 2019. – 136 s.
21. Aleksandrov, D. V. Vvedenie v gidrodinamiku: ucheb. posobie /D. V. Aleksandrov, A. Ju. Zubarev, L. Ju. Iskakova. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural, un-ta, 2012. – 112 s.
22. Ankudinov V. E., Afljatunova D. D., Krivilev M. D., Gordeev G. A. Komp'yuternoe modelirovanie processov perenosa i deformatsij v sploshnyh sredah: Uchebnoe po-sobie. 1-eizdanie. – Izhevsk: Izd-vo «Udmurtskij universitet», 2014. – 108 s.
23. Kolesnichenko, V.I. Vvedenie v mehaniku neszhimaemoj zhidkosti: ucheb. posobie / V.I. Kolesnichenko, A.N. Sharifulin. – Perm' : Izd-vo Perm. nac. issled. politehn. un-ta, 2019. – 127 s.
24. Kalugin, A. S. Krylenko, I. N. Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija pavodochnoj volny pri ispol'zovanii ishodnoj informacii razlichnoj detal'nosti / A. S. Kalu-gin, I. N. Krylenko // Vodnoe hozjajstvo Rossii. – 2014. – №3. – S.138-145.
25. Melezh, T.A. Inzhenerno–geologicheskaja ocenka jezkodinamicheskikh rezhimov doliny reki Pripjat' i prilegajushhih territorij / T. A. Melezh, A. I. Pavlovskij //VESTNIK VGU. SERIJa: GEOLOGIJa. 2015 № 3 – S.122 – 124.
26. Mihnevich, Je.I. Propusknaja sposobnost' rusel reguliruemyh rek i vodootvodjashhih kanalov / Je.I. Mihnevich // Prirodnaja sreda Poles'ja: osobennosti i perspektivy razvitija: sb. nauch. tr. Vyp. 1: v 2 t. – T. 2. Vodnye resursy Poles'ja.– Brest : Al'terna-tiva, 2008. – S. 38–41.

УДК 91:504

ОЦЕНКА СЕНСОРНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОДОСБОРОВ БАССЕЙНА Р. ЯСЕЛЬДЫ

*А. А. Волчек, д. г. н., профессор, профессор кафедры природообустройства,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: Volchak@tut.by*

*И. В. Окоронко, ст. преподаватель кафедры биологических и химических
технологий, Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина,
Брест, Беларусь, e-mail: okoronko2007@ya.ru*

Реферат

В статье рассмотрены современные подходы к экологическому нормированию качества почв бассейна р. Ясельды посредством анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Согласно используемой методике, были рассчитаны показатели сенсорности почвенного покрова для выделенных элементарных водосборов речного бассейна по отношению к загрязнению азотом и фосфором.

Ключевые слова: сенсорность почвенного покрова, гидрографическая сеть, речные бассейны, факторы антропогенной нагрузки, сенсорность почв, загрязнение азотом и фосфором.

ASSESSMENT OF THE SENSORITY OF SOIL COVER OF ELEMENTARY WATERSHEDS IN THE YASELDA RIVER BASIN

A. A. Volchak, I. V. Akoronka

Abstract

The article discusses modern approaches to environmental regulation of soil quality in the river basin. Yaselda, by analyzing soils according to the degree of hydromorphism. With an increase in the degree of hydromorphism, the restoration potential of soils increases, promoting the accumulation of both total and easily hydrolyzed nitrogen. Soil hydromorphism affects the mobility of phosphates in soils. According to the methodology used, the soil cover sensitivity indicators for the selected elementary watersheds of the river basin in relation to nitrogen and phosphorus pollution were calculated.

Key words: soil sensitivity, hydrographic network, river basins, anthropogenic load factors, soil sensitivity, nitrogen and phosphorus pollution.

Введение

В результате интенсивного освоения территории Белорусского Полесья происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит, в некоторых случаях, к ухудшению качественного состояния поверхностных вод. Главным условием нормального функционирования любой речной экосистемы является не только достаточность, но и надлежащее качество ее воды. Интенсивное использование почв в условиях современного сельскохозяйственного производства оказывает существенное влияние на трансформацию гумусовых соединений и круговорот веществ в целом, что часто приводит к потере органического вещества почвы, снижению плодородия, усилению эрозионных процессов и т. д. Для разработки оптимальных путей сохранения органического вещества почвы и предотвращения развития нежелательных явлений и процессов необходимо проведение исследований взаимосвязи содержания органического вещества и показателей биологической активности почвы, важное место среди которых принадлежит оценке содержания в них как химических элементов, так и различных загрязняющих веществ.

Цель исследований заключается в оценке сенсорности почвенного покрова элементарных водосборов бассейна реки Ясельды с использованием современных информационных технологий. Объект исследования – почвы элементарных водосборов бассейна р. Ясельды.

Длина р. Ясельды составляет 250 км. Берет исток из болота Дикое в 4 км к северу от д. Клепачи Пружанского района вблизи восточной границы Национального парка «Беловежская пуща» и впадает в р. Припять, в 3 км северо-западнее д. Качановичи Пинского района. В верховье течет по Прибугской равнине, далее – по Припятскому Полесью, относится к бассейну Черного моря. Река имеет невыраженную долину шириной 2–4 км, максимальная ширина составляет 6–8 км. Пойма реки двухсторонняя, в среднем течении имеет ширину 0,8–1,2 км, в нижнем – 1,5–6 км. Русло реки канализовано на протяжении 39 км от истока, а также 15 км на территории Березовского района. На неканализованных участках русло очень извилистое, имеет ширину 10–40 м, максимальная ширина – 80 м. Имеет правые (реки Кречет, Башта, Чернявка, Плеса, канал

Винец) и левые (реки Мацовка, Хотова, Федоска, Орля, Жигулянка, канал Огинский) притоки.

Река Жигулянка образуется в результате слияния рек Орли и Федоски в 9 км севернее д. Бронная Гора Березовского района. Длина реки составляет 58 км, впадает в озеро Черное в Березовском районе. После выхода из озера река называется Дорогобуж. Впадает в реку Ясельда в 3 км севернее д. Кокорица Дрогичинского района. Река Орля берет начало в 5 км юго-западнее д. Хрищеновичи Ивацевичского района, протекает по заболоченной и лесистой территории, длина составляет 14 км. Русло почти полностью канализовано. Исток реки Федоска расположен в 4 км южнее д. Иодчики Ивацевичского района, длина – 22 км.

Исток реки Кречет находится в 2 км западнее д. Оницевичи Березовского района, протекает через г. Березу и на его восточной окраине впадает в реку Ясельду. Длина составляет 26 км. Русло канализовано на всем протяжении реки.

До сравнительно недавнего времени канал Винец был рекой. На всех географических картах до 1960-х гг. Винец обозначен как река. Затем, в результате мелиорации и спрямления, река превратилась в канал. Берет начало в 3-х км к юго-западу от д. Россохи Пружанского р-на, впадает в р. Ясельду в 1 км севернее д. Матвеевичи Березовского района. Длина составляет 71 км. Основные притоки: река Чернявка, кананалы Давыдовичский, Черничный, Залужьевский, Мошковичский, Ястребельский. В пойме канала Винец в Березовском районе построены наливные пруды около д. Малеч, (площадь водного зеркала 2,9 га), д. Лукомер (0,5 га), д. Павловичи (6,3 га). Река Чернявка является левым притоком канала Винец. Берет начало мелиоративным каналом в 2 км юго-западнее д. Ворожбиты Березовского района. Русло реки на всем протяжении канализировано, длина составляет 33 км. В 1 км южнее аг. Ревятичи Березовского района впадает в канал Винец.

Канал Огинский был построен в 1783 г., соединив реки Ясельду и Щар, таким образом, соединив бассейны Черного и Балтийского морей. Частью канала являются озера Выгонощанское и Вульковское. Длина канала составляет 54 км.

Материалы и методы

Суть методики представляет собой определенную последовательность проведения следующих исследований.

1. Выбор операционной типологической единицы рассмотрения (элементарный водосбор, бассейн малой реки и др.). Посредством геоинформационного картирования было выделено восемь элементарных водосборов (рисунок 1).

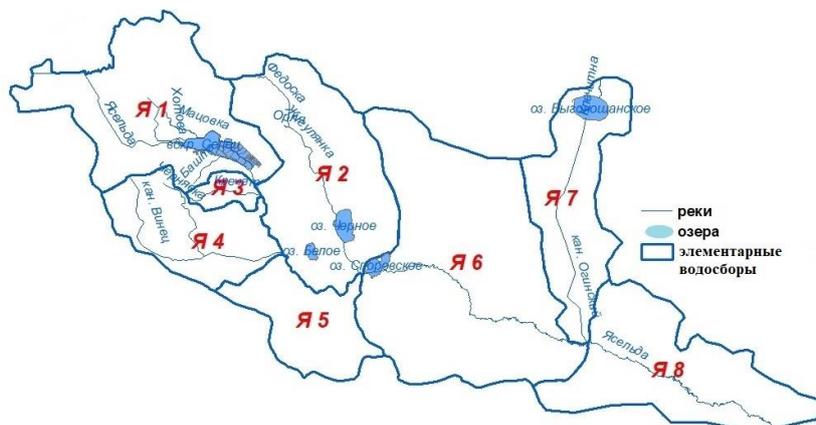


Рисунок 1 – Элементарные водосборы р. Ясельды

2. *Выявление основных факторов антропогенной нагрузки и оценка их количественных характеристик.* Оценка поступления биогенных элементов (азот и фосфор) проводилась на основании анализа ряда экспериментальных работ [5–16] в соответствии с разработанной методикой на основании обработки полученной статистической информации по численности городского и сельского населения и показателям сельскохозяйственного производства (численность сельскохозяйственных животных, количество вносимых минеральных удобрений).

Объекты сельскохозяйственного производства, представленные как сельскохозяйственными землями, так и производственными объектами (животноводческие фермы и комплексы, птицефабрики, места хранения органических и минеральных удобрений) представляют собой источники повышенной биогенной нагрузки и опасности. Интенсификация сельскохозяйственного производства, использование минеральных и органических удобрений, а также поверхностный сток с селитебных территорий и атмосферные осадки могут вызвать изменение величины и направленности потоков биогенных веществ.

Антропогенная нагрузка от животноводства на выделенные водосборные территории оценивалась по объему твердых и жидких отходов и содержащемуся в них количеству действующего вещества. Расчет биогенной нагрузки выполнялся исходя из численности проживающего населения. Для расчета эмиссии БЭ составлен полный перечень всех населенных пунктов и жителей (данные имеют географическую привязку), а также сведения о наличии либо отсутствии центральной канализации. В материалах HELCOM (исполнительный орган Конвенции по защите морской среды региона Балтийского моря от всех источников загрязнений и реализуется в рамках межправительственного сотрудничества Германии, Дании, Европейского союза, Латвии, Литвы, Польши, России, Финляндии, Швеции и Эстонии (Хельсинкская конвенция)) [17] расчет биогенной нагрузки $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ предлагается проводить при следующих значениях нагрузки от одного жителя: 0,9 кг P/год и 4,4 кг N/год.

При расчетах диффузного загрязнения принято, что при отсутствии центральной канализации нагрузка от населения поступает в подземный сток в пределах населенных пунктов и выносится равномерно в течение года. При этом механическая очистка не сказывается на содержании биогенных элементов в сточных водах, а биологическая очистка сточных вод приводит к снижению концентрации $P_{\text{общ}}$ на 30 %, $N_{\text{общ}}$ на 50 %. Содержание $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в отходах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, кг/год на 1 голову: $P_{\text{общ}}$ для КРС – 42,0, для свиней – 13,2, для птицы – 1,4, $N_{\text{общ}}$ для КРС – 82,1, для свиней – 31,2, для птицы – 1,5. При определении количеств азота и фосфора, внесенных с минеральными удобрениями, использовалось соотношение NPK 22 : 11 : 11. В соответствии с требованиями HELCOM приняты ограничения по внесению не более 170 кг/га азота и не более 25 кг/га фосфора.

Для определения выноса биогенных элементов с территории элементарных водосборов использована методика, предложенная коллективом белорусских ученых [18]. Сущность методики заключается в определении сенсорности почвенного покрова к загрязняющим биогенным элементам (азот и фосфор). По определению М. А. Глазовской [19], сенсорность – это ответная реакция почв на определенный вид техногенного воздействия, проявляющаяся в усилении подвижности и доступности для организмов химических элементов в токсичных для биоты формах и концентрациях. По ее мнению, при оценке сенсорности

почвенного покрова необходимо учитывать связь между свойствами почв и накоплением химических веществ в них в подвижных формах. Определение показателя сенсорности почвы производилась исходя из анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма, возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Таким образом, с увеличением степени гидроморфизма наблюдается переход фосфатов в трудноусвояемые формы. По степени увлажнения были выделены 5 типов почв: автоморфные, контактно- и глубокооуглеенные, временно избыточно увлажняемые, глееватые и глеевые. В таблице приведены балльные значения для оценки сенсорности почвы к загрязнению биогенными элементами.

Таблица 1 – Шкала показателей, контролирующих сенсорность почвы к загрязняющим биогенным элементам, баллы

Признаки и градации показателей	Загрязняющие химические вещества	
	Азот	Фосфор
Автоморфные	0,8	4
Контактно- и глубокооуглеенные	1,6	3,2
Временно избыточно увлажненные	2,4	2,4
Глееватые	3,2	1,6
Глеевые	4	0,8

Сочетание почвенного покрова по сенсорности к конкретному загрязняющему веществу оценивалась по формуле

$$C_{\text{сп}} = (A_1 * x + A_2 * y + A_3 * z + A_m * n) / S, \quad (1.1)$$

где, $C_{\text{сп}}$ – сенсорность почвенного покрова к индивидуальному веществу, балл; A_1, A_2, A_3, A_m – сенсорность почвенных разновидностей к индивидуальному веществу, балл; x, y, z, \dots, n – площади почвенных разновидностей, входящих в состав почвенного покрова, км^2 ; S – площадь элементарного водосбора, км^2 .

3. *Картографирование выявленных природных и антропогенных факторов для выбранных типологических единиц рассмотрения.* Необходимый материал был получен путем обработки картографических и справочных материалов. Все расчеты и картосхемы проводились с использованием приложения ArcGIS 10.3. Исходная база данных формировалась по справочным материалам землеустроительных служб, отчетов статистического комитета, сельских исполнительных комитетов, а также комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского исполнительного комитета. Часть данных было получено с помощью созданной геоинформационной системы путем пересечения различных тематических карт.

4. *Анализ полученных результатов исследования.*

Результаты и обсужден.

Бассейн р. Ясельды расположен на территории восьми административных р-нов (Пружанского, Березовского, Ивацевичского, Дрогичинского, Ивановского, Пинского, Ляховичского и Ганцевичского) Брестской обл.

Население водосбора Ясельды составляет 130,1 тыс. чел. (50,0 тыс. городское и 80,1 тыс. сельское). Население проживает в 350 населенных пунктах, из которых три города районного подчинения (Береза, Белоозерск, Коссово), два поселка городского типа (Телеханы, Логишин), 45 агрогородков, 300 сельских населенных пунктов (297 деревень, 3 поселка) [20]. Исследуемый регион характеризуется невысокой степенью антропогенной освоенности территории. Средняя плотность населения составляет 22,9 чел./км. В границах бассейна расположено 52 предприятия агропромышленного комплекса и свыше 150 фермерских хозяйств (рисунок 2).

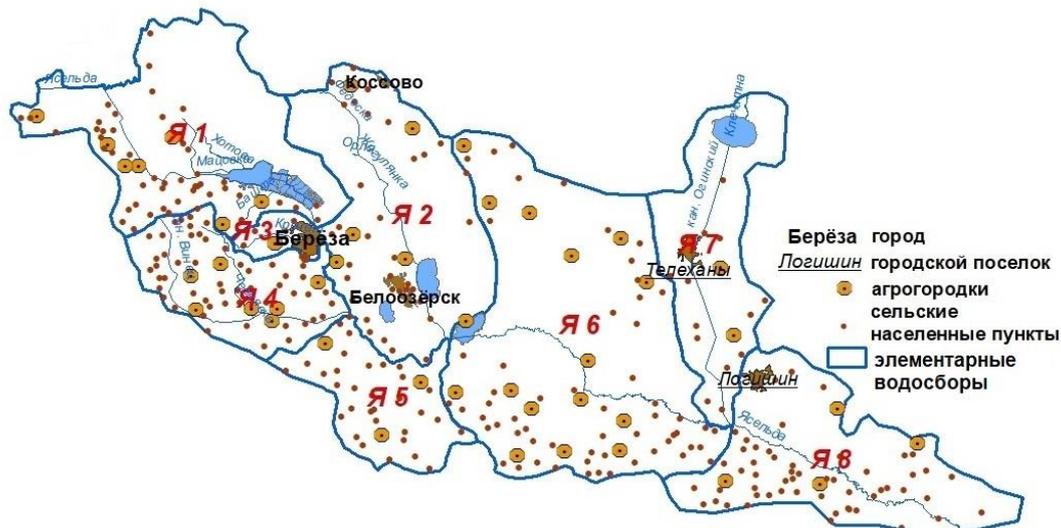


Рисунок 2 – Размещение населенных пунктов в границах бассейна

Характеристика антропогенных источников антропогенного поступления биогенных элементов представлены в таблице 2.

В таблице 3 представлены оценки массы биогенных веществ, формирующейся за счет антропогенной нагрузки на элементарных водосборах р. Ясельды.

Наибольшее количество Нобщ. поступает в пределах водосборов Я3 (124,4 кг/га) и Я4 (122,0 кг/га), соответственно Робщ. – на водосборах Я1 (43,9 кг/га) и водосборе Я4 (41,8 кг/га). В границах бассейна р. Ясельды превышение по азоту не фиксируется, а по фосфору превышения фиксируются на элементарных водосборах Я1, Я3, Я4, Я6 и Я8.

Таблица 2 – Антропогенные источники поступления биогенных элементов в бассейн р. Ясельды

Элементарный водосбор	Численность населения, тыс. чел. (2018 г.)		Численность сельскохозяйственных животных, тыс. гол.			Количество вносимых минеральных удобрений, тыс. т. д. в.
	городское	сельское	КРС	свиней	птицы	
Я 1	0	5,6	69,4	35,6	0	14,9
Я 2	14,4	12,7	23,8	0	215,0	3,9
Я 3	29,5	3,0	2,3	2,4	0	1,0
Я 4	0	9,7	24,2	0	0	4,3
Я 5	0	4,5	13,8	0	0	1,9
Я 6	0	20,8	65,9	0	0	15,0
Я 7	4,0	4,6	14,8	0	0	2,9
Я 8	2,2	19,3	51,3	16,4	0	7,8

Таблица 3 – Количество поступаемых биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Ясельды, тонн

Водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
Я 1	9973,8	4101,0	24,5	5,0	6379,3	3203,4	3570,0	892,5
Я 2	4329,5	1813,5	87,5	20,5	2280,5	1302,7	1961,5	490,4
Я 3	934,5	297,4	78,2	21,3	262,7	127,7	593,7	148,4
Я 4	5613,6	1921,3	42,7	8,7	1987,4	1016,7	3583,5	895,9
Я 5	2331,5	878,8	19,9	4,1	1134,9	580,6	1176,7	294,2
Я 6	12608,2	4563,4	91,4	18,7	5411,5	2768,3	7105,4	1776,3
Я 7	2464,2	934,0	29,0	6,6	1217,7	622,9	1217,6	304,4
Я 8	7684,8	3106,6	89,6	18,7	4718,5	2368,7	2876,7	719,2

Распределение биогенных элементов представлено на рисунке 3.

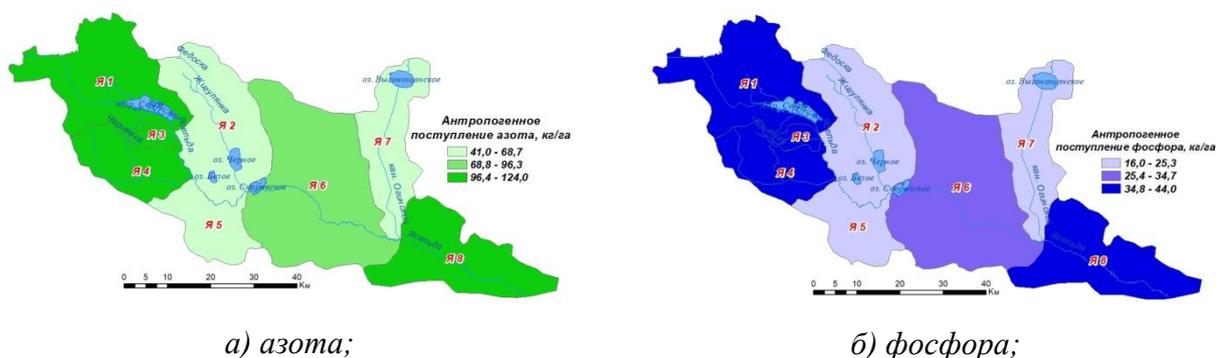


Рисунок 3 – Антропогенное поступление биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Ясельды

В почвенном покрове бассейна р. Ясельды наиболее часто встречаются временно избыточно увлажненные (33,8 %), глееватые (25,1 %) и глеевые (21,9 %) почвы. Контактно- и глубокооглеенные составляют 10,7 %, а автоморфные – 8,4 %.

Распределение почв по степени гидроморфизма в границах элементарных водосборов представлены в таблице 4.

По гранулометрическому составу в границах бассейна р. Ясельды доминируют песчаные почвы (44,7 %). Доля торфяных почв составляет 28,6 %, супесей – 26,3 %, суглинков – 0,4 %. Структура почвенного покрова по гранулометрическому составу в разрезе элементарных водосборов представлена в таблице 5.

Таблица 4 – Структура почвенного покрова элементарных водосборов бассейна р. Ясельды, %

Элементарный водосбор	Автоморфные	Контактно- и глубокооглеенные	Временно избыточно увлажненные	Глееватые	Глеевые и торфяно-болотные
Я 1	12,5	10,5	43,5	18,9	14,7
Я 2	5,7	7,3	47,7	19,7	19,7
Я 3	18,3	8,1	30,0	35,9	7,8
Я 4	8,7	8,1	33,7	34,0	15,5
Я 5	3,2	3,3	26,6	53,3	13,6
Я 6	6,3	17,6	27,3	23,2	25,7
Я 7	2,7	7,7	43,7	18,4	27,5
Я 8	12,6	9,0	30,6	16,6	31,2

Таблица 5 – Распределение почв элементарных водосборов бассейна р. Ясельда по гранулометрическому составу, %

Элементарный водосбор	Пески	Супеси	Суглинки	Торф
Я 1	32,4	26,5	0,0	41,1
Я 2	38,5	14,3	0,0	47,2
Я 3	24,1	71,5	1,1	3,3
Я 4	31,4	55,3	0,9	12,3
Я 5	40,8	49,2	0,9	9,1
Я 6	56,4	16,4	0,6	26,6
Я 7	55,8	3,4	0,0	40,8
Я 8	50,8	15,8	0,2	33,2

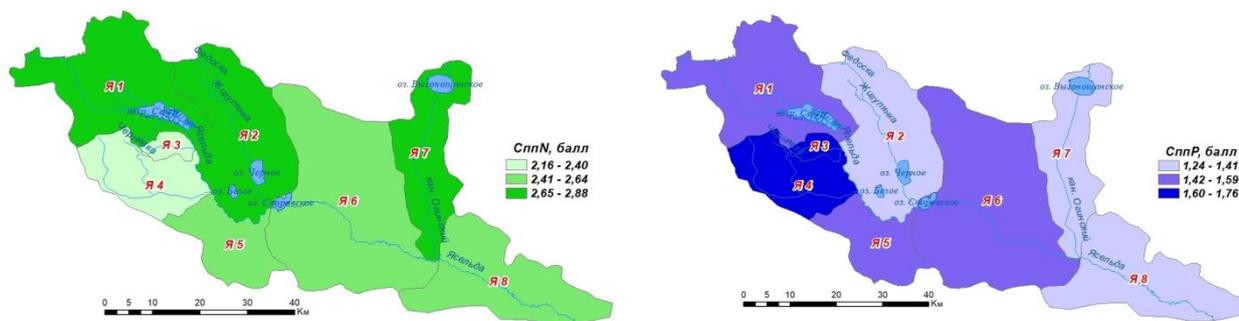
Наиболее распространенными почвообразующими породами в границах бассейна являются водно-ледниковые – 56,8 %. Органогенные почвообразующие породы составляют 30,4 %, озерно-аллювиальные 12,5,0 %, оргагогенные – 0,3 %. В таблице 6 представлена структура почвенного покрова в разрезе элементарных водосборов по почвообразующим породам.

Таблица 6 – Генезис почвообразующих пород в пределах элементарных водосборов бассейна р. Ясельда, %

Элементарный водосбор	Озерно-аллювиальные	Водно-ледниковые	Моренные	Органогенные
Я 1	0,4	54,9	2,0	42,7
Я 2	3,9	49,0	0,0	47,2
Я 3	0,0	96,7	0,0	3,3
Я 4	0,0	87,7	0,0	12,3
Я 5	0,0	90,9	0,0	9,1
Я 6	22,0	51,1	0,0	26,9
Я 7	33,9	18,8	0,0	47,2
Я 8	22,5	38,4	0,0	39,1

Распределение показателей C_{nn} представлены на рисунке 5.

Наименьший балл $C_{nn}N$ зафиксирован для водосборов Я3 и Я4. В данных водосборах наблюдается наибольший показатель по поступлению азота. Средними показателями $C_{nn}N$ характеризуются водосборы Я5, Я6 и Я8, при этом в водосборе Я8 фиксируются наибольшие показатели поступления азота. Наивысший балл $C_{nn}N$ выявлен для водосборов Я1, Я2 и Я7, среди которых водосбор Я1 характеризуется высокими, а водосборы Я2 и Я7 наименьшими показателями поступления азота.



а) к загрязнению азотом;

б) к загрязнению фосфором;

Рисунок 5– Распределение показателей C_{nn} бассейна р. Ясельды

Для элементарных водосборов Я2, Я7 и Я8 выявлены наименьший балл *СппР*. При этом для водосбора Я8 характерен наибольший показатель поступления фосфора. Средние показатели *СппР* зафиксированы для водосборов Я1, Я5, Я6, из которых водосбор Я1 характеризуется наибольшими показателями по поступаемому фосфору. Водосборы Я3 и Я4 имеют наибольший балл *СппР*, однако для данных водосборов отмечен также и наибольший показатель по поступлению фосфора.

Следовательно, наиболее напряженное ландшафтно-экологическое состояние по поступлению биогенных элементов выявлено в элементарных водосборах Я3, Я4 и Я8.

Заключение

Для исследуемой территории, с использованием бассейнового подхода, проведено гидрографическое районирование бассейна р. Ясельды, выделены восемь элементарных водосборов, оцифрован картографический материал, собраны статистические данные, создана база данных по различным физико-географическим, социально-экономическим и эколого-гидрографическим показателям.

С использованием разработанной методики дана количественная оценка поступления биогенных элементов (азота и фосфора) от антропогенных источников в пределах элементарных водосборов.

Выполнено зонирование исследованной территории по величине поступления биогенных элементов. Установлено, что для пяти элементарных водосборов наблюдается превышение допустимых норм по поступлению фосфора.

Список цитированных источников

1. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя / рэдкал. : Н. А. Дзісько і інш. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
3. Рэкі, азеры і вадасховішчы Беларусі / Энцыклапедычная бібліятэчка «Беларусь». – Мінск : БелЭн, 1979. – 216 с.
4. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азеры, вадасховішчы : энцыклапедыя / Маст. : Ю. А. Тарзеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
5. Волчек, А. А. Биогенные элементы на малых водосборах реки Мухавец / А. А. Волчек, И. В. Окоронко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках : материалы междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол. : П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 340–345.
6. Ясинский, С. В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек / С. В. Ясинский // Известия АН. Сер. географическая. – 2000. – № 4. – С. 74–82.
7. Брюханов, А. Ю. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
8. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. № 2. – С. 232–244.
9. Кондратьев, С. А. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) / С. А. Кондратьев, А. Ю. Брюханов, А. В. Терехов // Вопр. географии. – 2018. – № 145. – С. 89–108.

10. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С.А. Кондратьев [и др.] // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.
11. Ясинский, С. В. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) / С. В. Ясинский, Е. А. Кашутина, Сидорова М. В., Нарыков А. Н. // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. науч. тр. Н. Новгород. – М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.
12. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Мн.: БГУ, 2009. – 123 с.
13. Брюханов, А. Ю. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. С. Обломкова [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
14. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. Ресурсы, 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 232–244.
15. Кондратьев, С. А. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев, М. В. Казмина, М. В. Шмакова, Е. Г. Маркова // Региональная экология, 2011, № 3–4. – С. 50–59.
16. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). – Helsinki: HELCOM, 2005. – 80 p.
17. Феденя, В. М. Сенсорность почв к химическому загрязнению как основа экологического нормирования техногенных химических нагрузок / В. М. Феденя, Т. А. Романова, В. А. Матвеева, Н. Е. Ивахненко // Природные ресурсы, 2000. – № 2. – С. 48.
18. Глазовская, М. А. Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям / М. А. Глазовская // Почвоведение, 1991. – № 1. – С. 134–139.
19. Брестская область в цифрах. – Минск : Главное статистическое управление Брестской области, 2019. – 88 с.

References

1. Blakitnaja kniga Belarusi: Jencyklapedyja / rjedkal.: N. A. Dzis'ko i insh. – Minsk : BelJen, 1994. – 415 s.
2. Volchek, A.A. Vodnye resursy Brestskoj oblasti / A.A. Volchek, M.Ju. Kalinin. – Minsk : Izd. Centr BGU, 2002. – 440 s.
3. Rjeki, azjory i vadashovishchy Belarusi / Jencyklapedychnaja biblijatjehka «Belarus'». – Minsk : BelJen, 1979. – 216 s.
4. Blakitny skarb Belarusi: Rjeki, azery, vadashovishchy / Mast. : Ju.A. Tarjeeŭ, U.I. Cjarjenc'eŭ. – Minsk : BelJen, 2007. – 480 s.
5. Volchek A.A. Biogennye jelementy na malyh vodosborah reki Muhavec / A.A. Volchek, I.V. Okoronko // Razvitie geograficheskikh issledovanij v Belarusi v XX–XXI vekah [Jelektronnyj resurs]: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. och.-zaoch. konf., posvjashh. 100-letiju Belorus. gos. un-ta, 60-letiju kaf. fiz. geografii i obrazovat. tehnologij, 100-letiju so dnja rozhdenija prof. O.F. Jakushko, Minsk, 24–26 marta 2021 g. / Belorus. gos. un-t; pod obshh. red. P.S. Lopuha; redkol.: P.S. Lopuh (gl. red.) [i dr.]. – Minsk: BGU, 2021. – s. 340 - 345.
6. Jasinskij, S.V. Geojekologicheskij analiz antropogennyh vozdeystvij na vodosbory malyh rek / S.V. Jasinskij // Izvestija AN. Ser. geograficheskaja. – 2000. – № 4. – S. 74–82.
7. Metodika opredelenija biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty ot sel'skohozjajstvennogo proizvodstva / A.Ju. Brjuhanov [i dr.] // Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. – 2016. – № 89. – S. 175–183.
8. Jasinskij, S.V. Diffuznoe zagraznenie vodnyh ob#ektov i ocenka vynosa biogennyh jelementov pri razlichnyh scenarijah zemlepol'zovanija na vodosbore / S V. Jasinskij, E.V. Venicianov, I.A. Vishnevskaja // Vod. resursy. – 2019. – Т. 46. № 2. – S. 232–244.

9. Kondrat'ev, S.A. Struktura poverhnosti vodosbora kak opredel'ajushhij faktor biogennoj nagruzki na vodoem (po dannym matematicheskogo modelirovanija) / S.A. Kondrat'ev, A.Ju. Brjuhanov, A.V. Terehov // Vopr. geografii. – 2018. – № 145. – S. 89–108.
10. Metod rascheta biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty / S.A. Kondrat'ev [i dr.] // Regional'naja jekologija. – 2011. – № 3–4. – S. 50–59.
11. Antropogennaja nagruzka na vodosbor i ee uchet pri ocenke vynosa biogennyh jelementov v krupnyj vodnyj ob#ekt (na primere Cheboksarskogo vodohranilishha) / S.V. Jasinskij, Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. // Nauchnye problemy ozdorovlenija rossijskih rek i puti ih reshenija: sb. nauch. tr. Nizhnij Novgorod. – M. : Studija F1, 2019. – S. 487–491.
12. Kol'makova E.G. Antropogennye izmenenija stoka rastvorenyh veshhestv rek bassejna Nemana / E.G. Kol'makova. – Mn.: BGU, 2009. – 123 s.
13. Brjuhanov A.Ju., Kondrat'ev S.A., Oblomkova N.S., Ogluzdin A.S., Subbotin I.A. Metodika opredelenija biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty ot sel'skohozjajstvennogo proizvodstva // Tehnologii i tehnicieskie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2016. № 89. S. 175 - 183.
14. Jasinskij S.V., Venicianov E.V., Vishnevskaja I.A. Diffuznoe zagrjaznenie vodnyh ob#ektov i ocenka vynosa biogennyh jelementov pri razlichnyh scenarijah zemlepol'zovanija na vodosbore // Vod. resursy. 2019. T. 46. № 2. S. 232–244.
15. Kondrat'ev S.A., Kazmina M.V., Shmakova M.V., Markova E.G. Metod rascheta biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty//Regional'naja jekologija. 2011. № 3-4. S. 50-59.
16. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). Helsinki: HELCOM, 2005. 80 p.
17. Fedenja V.M., Romanova T.A., Matveeva V.A., Ivahnenko N.E. Sensornost' pochv k himicheskomu zagrjazneniju kak osnova jekologicheskogo normirovanija tehnogennyh himicheskikh nagruzok // Prirodnye resursy. 2000. №2. S. 48.
18. Glazovskaja M.A. Kachestvennye i kolichestvennye ocenki sensornosti i ustojchivosti prirodnyh sistem k tehnogennym kislotnym vozdejstvijam // Pochvovedenie. 1991. №1. S. 134 – 139.
19. Brestskaja oblast' v cifrah. – Minsk: Glavnoe statisticheskoe upravlenie Brestskoj oblasti, 2019. – 88 s.

УДК 628.381.1

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Р. Н. Вострова, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения химии и экологии, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь, e-mail: delf_1@mail.ru

А. Н. Пехота, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: vostrova@tut.by

В. А. Малофей, студент, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь, e-mail: malofejvika315@gmail.com

Реферат

Нельзя считать очистку городских сточных вод законченной без решения проблемы утилизации осадков сточных вод.

При проектировании очистных сооружений необходимо планировать возврат энергоемкого продукта в народнохозяйственный оборот.

Основными направлениями использования осадков являются: применение их в качестве компонента при создании почвоулучшающих композиций и в качестве компонента при создании брикетированного топлива.

В данной статье предлагается решение задачи экологически безопасного размещения осадков сточных вод в окружающей среде.

Ключевые слова: осадки сточных вод, брикетированное твердое топливо, городские очистные сооружения.

FINAL STAGE OF WASTEWATER DISPOSAL

R. N. Vostrova, A. N. Pekhota, V. A. Malofey

Abstract

It is impossible to consider municipal wastewater treatment complete without solving the problem of wastewater sludge disposal.

When designing treatment facilities, it is necessary to plan the return of an energy-intensive product to the national economy.

The main areas of use of sludge are: their use as a component in the creation of soil-improving compositions and as a component in the creation of briquetted fuel.

This article proposes a solution to the problem of environmentally safe placement of sewage sludge in the environment.

Keywords: organization, the construction management project, the project of manufacture of works, calendar plan, duration.

Введение

Актуальной задачей современной очистки сточных вод является решение проблемы использования осадков, складирующихся на иловых картах очистных сооружений, с максимальной выгодой для народного хозяйства. В настоящее время исследуются различные направления экологически безопасного размещения осадков в окружающей среде.

Собственные исследования

Осадки сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений являются прекрасным удобрением, повышающим урожай сельскохозяйственных культур почти в два раза [1, 2]. Но применять их, в качестве удобрения допустимо только после обработки и компостирования вместе с торфом и в концентрациях не выше ПДК, так как вследствие сброса в систему водоотведения производственных сточных вод в осадках содержится значительное количество вредных соединений тяжелых металлов, которые переходят в сельскохозяйственные культуры, в связи с этим в развитых странах в качестве удобрений используется не более 10...30 % осадков бытовых сточных вод.

Более безопасный путь использования компостов на основе ОСВ – зеленое строительство города [3, 4]. Положительным примером может служить опыт Московских очистных сооружений, где илы используются в качестве компонента для создания компоста. Декоративные растения, кустарники и газоны выращиваются на компостах, изготавливаемых на предприятиях, расположенных рядом с очистными сооружениями.

Известен опыт Рижских ученых, выращивающих газоны на песках Рижского взморья, используя в качестве почвоулучшающих композиций ОСВ городских сооружений. Но риски загрязнения почвы, возникающие при внесении компостов на основе ОСВ, зачастую тормозят решение проблемы утилизации ОСВ.

Учеными УО БелГУТ проведен ряд опытов по выращиванию сельхозкультур при внесении ОСВ в почву. На каждой из подготовленных делянок были произведены посадки стандартных семян рапса, люпина и масличной редьки. Общая площадь делянки – 10 м², повторность вариантов четырехкратная. После сбора урожая в течение всех этапов исследований анализ содержания тяжелых металлов в почве и растениях проводился по принятым в республике методикам в РНИУПР Институт радиологии, г. Гомель.

Анализ содержания тяжелых металлов в растениях позволил сделать вывод, что в семенах исследованных растений наблюдается повышенное содержание свинца, кадмия и хрома. Медь и цинк содержатся в концентрациях, не превышающих гигиенические нормативы качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья.

Содержание кадмия, цинка и хрома в зеленой массе люпина, рапса и редьки превысило максимально допустимый уровень этих химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных. Однако эти культуры могут использоваться в технических целях (рапс – для производства масла, люпин известен как почвоулучшающая культура, накапливающая в земле азот, при его возделывании в почве сохраняется положительный баланс гумуса и питательных веществ. В семенах люпина содержится от 40 до 47 % белка, а по содержанию незаменимых аминокислот они не отличаются от белка сои).

Таблица 1 – Ранжирование исследуемых культур по коэффициенту биологического поглощения ими тяжелых металлов

Элемент	Ранжирование по значению коэффициента Кб
Свинец	редька, зеленая масса > люпин > рапс, зеленая масса
Кадмий	рапс, зеленая масса > редька, зеленая масса > люпин
Медь	люпин > редька, зеленая масса > рапс, зеленая масса
Цинк	рапс, зеленая масса > редька, зеленая масса > люпин
Никель	редька, зеленая масса > рапс, зеленая масса > люпин
Хром	рапс, зеленая масса = редька, зеленая масса > люпин

Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в растениях, выращенных в течение трех лет на исследуемом участке показывает, что практически все элементы довольно интенсивно переходят из почвы в растение и накапливаются в избыточных количествах во всех наземных органах даже при незначительном загрязнении почв. Формирование химического состава растений происходит при одновременном воздействии большого числа факторов, основными из которых являются содержание химических элементов в питательной среде, формы их нахождения в почве, а также физиологические особенности растений, в частности, барьерный и безбарьерный тип накопления. Поглощение тяжелых металлов растениями – процесс, в значительной мере, регулируемый организмом в зависимости от характера видового строения химического состава клеточных мембран. Поэтому при нормальных концентрациях элементов в почве пассивная диффузия составляет всего 2–3 % от всей массы усвоенных минеральных элементов.

Для цивилизованного использования ОСВ необходимы нормативные документы, регламентирующие безопасность действий для окружающей среды.

Кроме этого, необходима система тщательного контроля по внесению компостов в почву.

Другим направлением использования ОСВ является создание брикетов на основе ОСВ и сжигание их в местных котельных [5]. В настоящее время многие котельные очистных сооружений переведены на местные виды топлива, где сжигается, как правило древесина, которая может быть использована более эффективно. Брикетирование топлива на основе ОСВ непосредственно на очистных сооружениях и сжигая его в котельных, можно получить как экономическую выгоду, возвращая отход в народнохозяйственный оборот, так и снизить техногенную нагрузку очистных сооружений на окружающую среду, не отправляя этот отход на полигон твердых бытовых отходов [6].

В результате исследований, проведенных группой сотрудников УО БелГУТ, созданы партии брикетированного топлива и исследованы его физические характеристики, установлен элементарный состав топлива, определена теплота сгорания.

Определение основных физико-химических показателей составов топлива с целью определения оптимальных компонентных параметров, проводились с участием аккредитованной лаборатории топлив, масел и кормов «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» Белорусского государственного университета.

В топливной лаборатории Речицкой мини -ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго» произведен анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов. При разработке компонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам.

При сжигании в теплотехнических установках возможность использования твердых видов топлива в определенных областях определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами. Теплота сгорания топлива является основным параметром, позволяющим судить об энергоэффективности различных видов топлива, определяется количеством теплоты, выделяющейся при сгорании и зависит от элементного состава.

С учетом оптимального компонентного состава топливных брикетов, были разработаны составы четырех образцов брикетов для определения диапазонов и соотношений химического состава соответствующему оптимальному качеству, пригодному для использования в хозяйственной деятельности КПУП «Гомельводоканал» с возможностью сжигания в котлах имеющейся промышленной котельной: «Марка-1» – из ОСВ – 50 % и опилок – 50 %; «Марка-2» – из ОСВ – 75 % и опилок – 25 %; «Марка-3» – из ОСВ – 100 %; «Марка-4» – из ОСВ – 33 % и опилок – 67 %.

Исследование показателей зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в лабораториях на образцах, а также моделировались с использованием идентичных методов и методик определения показателей с применением программно-аппаратного комплекса калориметра модели В-08МА-К.

Основные результаты экспериментальных исследований по маркам МТТ обобщены и в виде информации о предельных значениях содержания углерода, водорода, азота, кислорода и серы, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива, согласно протоколам испытаний

Вид топлива	Обозначение	Рабочий состав топлива (по массе), %				
		С	O2	H2	N2	S
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 50 %	Марка 1	40,3	34	2,3–5,3	1,77	0,54–0,6
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 25 %	Марка 2	39,4	24,1	2,3–5,4	2,24	0,61–1,09
МТТ ОСВ без содержания древесных отходов 0 %	Марка 3	40,4	12,7	2,3–5,7	2,38	1,16–1,18
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 67 %	Марка 4	43,4	31,1	2,5–5,6	1,66	0,54–0,62

Сравнение полученных результатов исследования элементных составов горючей массы многокомпонентного топлива на основе ОСВ с другими видами твердого топлива представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Состав топлива, %							Q
	С	H2	N2	O2	S	A	W	Мдж
МТТ (с углеводородсодержащими отходами)	59–62	4,6–6,5	0,2–0,3	31–36	0,3–0,7	4,5–10	10–19,9	18,0–21,0
МТТ на основе ОСВ марка 1	50–52	2,3–5,1	1,5–2,5	16–20	0,6	21,4–22,7	10,4–62,7	5,4–16,3
МТТ на основе ОСВ марка 2	49–53	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,5–1,1	27,9–29,9	10,4–57,2	6,1–16,8
МТТ на основе ОСВ марка 3	46–49	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,46–1,2	32,7–34,6	10,4–62,7	5,3–16,7
МТТ на основе ОСВ марка 4	50–52	2,5–5,1	1,5–2,4	20–22	0,57–0,6	21,0–21,4	10,4–57,2	5,5–15,6
Торф	25–60	2,6–6,0	1,1–3,0	15–40	–	6–50	0–95	8,0–21,0
Древесина	48–52	6–7	0,1–0,6	43–45	–	–	60–95	12,5

Результаты моделирования и аналитические данные, полученные при обработке зависимости изменения теплоты сгорания от влажности по каждой марке топлива, представлены в графическом виде на диаграммах (рисунок 1–4).

Показатели зависимости изменения теплоты сгорания от влажности многокомпонентного твердого топлива с использованием осадка сточных вод очистных сооружений г. Гомеля представлены в виде графика на рисунке 5.

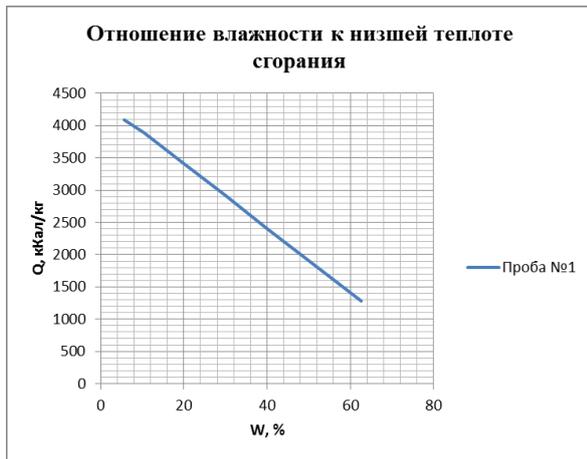


Рисунок 1 – Топливо марки 1

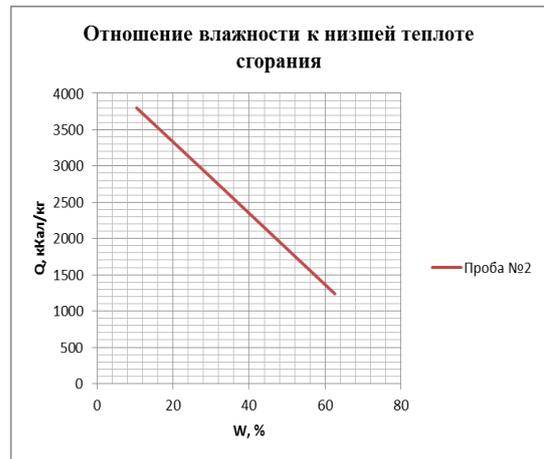


Рисунок 2 – Топливо марки 2

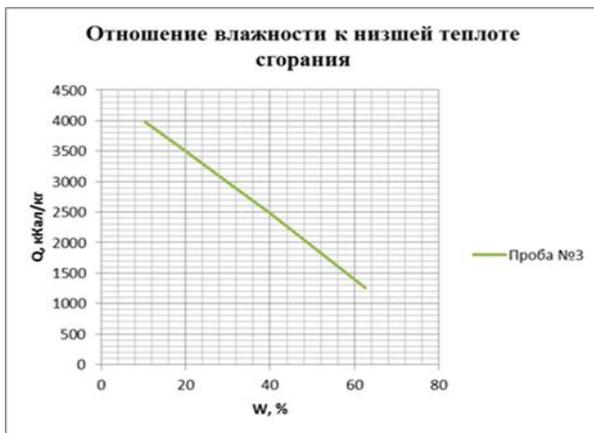


Рисунок 3 – Топливо марки 3

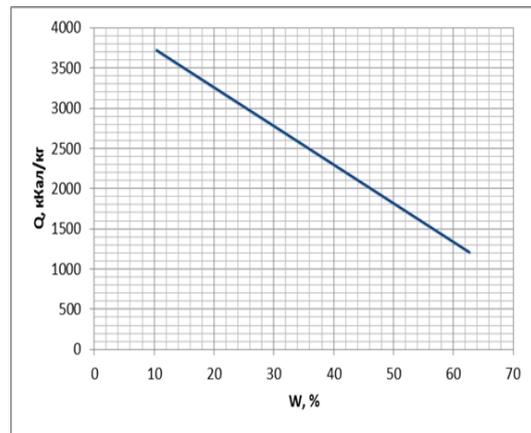


Рисунок 4 – Топливо марки 4

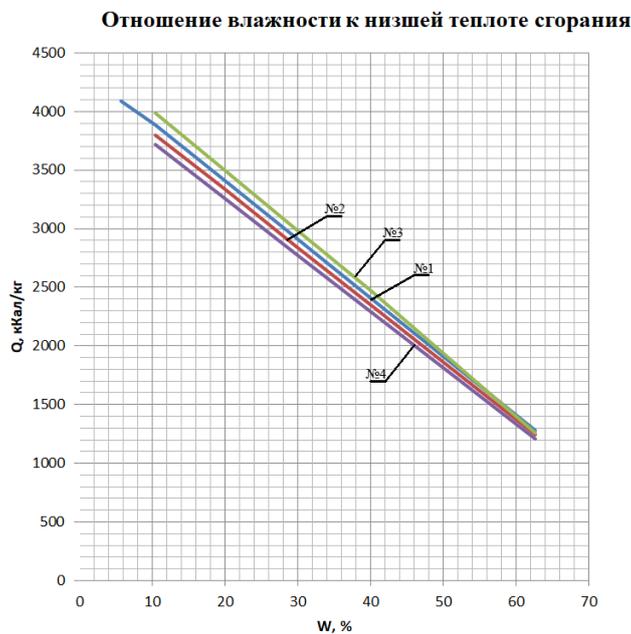


Рисунок 5 – Динамика изменения зависимости Q и W топлива с использованием ОСВ марок 1–4

Анализ результатов исследований показал, что твердое топливо с использованием ОСВ при влажности 30 % имеет теплоту сгорания в пределах 2842-2986 Ккал/кг (11,9–12,5 МДж/кг), что согласно СТБ 1919-2008 практически

соответствует теплоте сгорания торфа (марки БТ-2 – БТ-6) и составляет 3000 Ккал/кг (12,6 МДж/кг) при влажности 20 %. Это позволяет, не досушивая брикеты, при сжигании получать теплоту сгорания, как у торфяного топлива.

Исследование содержания серы в составе топлива марки 3 (ОСВ – 100 %), показало значение равное 1,18 %, что в целом является несколько завышенным (около 20 %), однако добавление более чистого по составу компонента в виде древесных опилок снижает содержание серы до показателей 0,58 % – 0,6 %, при допустимом нормативе – не выше 1 %.

Результаты исследования теплоты сгорания образцов показывают, что при влажности 10,4 % теплота сгорания, образца с составом ОСВ – 100 % составляет 3986 Ккал/кг, при том, что при смешивании ОСВ и древесных опилок в пропорции 50 х 50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 Ккал/кг.

При этом наблюдаются значительное изменение параметров зольности в сторону снижения, что является достаточно существенным показателем качественных характеристик топлива, так как зольность – нежелательный балласт.

Добавление древесных отходов позволяет снизить показатель зольности и получить многокомпонентное твердое топливо в пределах действующих нормативов, изложенных в СТБ 2202-2011.

Значения теплоты сгорания при различной влажности брикетов, а также расчет энергетической ценности относительно топливного эквивалента представлены в таблице 4.

Снижение содержания в топливе серы необходимо, так как присутствие серы снижает качество твердого топлива, в первую очередь за счет того, что при сжигании топлива выделяются сернистые газы SO_2 и SO_3 которые, соединяясь с водой, образуют серную кислоту, которая, в свою очередь, негативно влияет, в том числе и на металлические части котла, а попадая в атмосферу, наносит вред окружающей среде.

Данная проблема может быть решена добавлением древесных опилок. Результаты отжига серы и образования золы представлены на рисунках 6, 7.

Таблица 4 – Сравнение топливного эквивалента с различными составами МТТ ОСВ при различной влажности топлива

Марка брикета	Состав брикета	Влажность W, %	Теплота сгорания Q, Ккал/кг	Калорийный эквивалент
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	10,4	3889	0,556
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	10,4	3800	0,543
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	10,4	3986	0,569
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	10,4	3719	0,531
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	30	2911	0,416
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	30	2842	0,406
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	30	2986	0,427
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	30	2778	0,397
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	40	2412	0,345
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	40	2352	0,336
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	40	2476	0,358
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	40	2297	0,328



Рисунок 6 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 4



Рисунок 7 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 3

На основе анализа полученных результатов проведенных исследований с использованием осадка сточных вод очистных сооружений КУП «Гомельводоканал» в качестве твердого топлива, можно сделать следующие выводы.

1. Марка 1 представляет собой многокомпонентное твердое топливо, которое отвечает действующим стандартам по основным показателям: зольность не превышает 23 %, массовая доля серы не превышает 0,6 %, низшая теплота сгорания – не ниже 17120 КДЖ/кг. Марка 1 может применяться для сжигания с использованием действующих стандартов на лигнин гидролизный и топливный торф. Допускается сжигать гидролизный лигнин с влажностью 60 %, а торф топливный кусковой по СТБ 2202-2011 допускается к применению с влажностью 40 %.

2. Марка 2 и Марка 3 также могут быть применены в качестве топлива, но для их применения необходимо разработать технические условия с указанием всех предельно-допустимых нормативов по основным характеристикам получаемого топлива.

3. Марка 4 по полученным результатам практически не отличается от Марки 1: зольность и общая сера практически не изменяются (0,57 % – 0,62 %) даже за счет большого содержания древесных опилок в составе топлива, при этом отмечено снижение теплоты сгорания до 14,97 МДж/кг.

Заключение

Анализ элементарного состава топлива позволил найти оптимальное соотношение компонентов в составе топлива и определить, что ОСВ Гомельских очистных сооружений обладает значительным энергетическим потенциалом, а проведенные исследования и полученные результаты, в том числе и по определению низшей теплоты сгорания сухого топлива показывают, что ОСВ обладает значительными показателями энергоэффективности топлива с существенным КПД для альтернативных энергоресурсов, несмотря на повышенную зольность в рабочем составе топлива.

Список использованных источников

1. Вострова, Р. Н. Вторая жизнь осадка сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова // Известия ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – С. 93–98.
2. Вострова, Р. Н. У критической черты / Р. Н. Вострова, В. Л. Лисицин, Н. М. Чаша // Вода-MAGAZIN, 2011. – С.85–89.

3. Вострова, Р. Н. Применение осадка сточных вод городских очистных сооружений для изготовления компостов / Р. Н. Вострова, Н. С. Архипенко // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : труды II науч.-практ. конф., 23 нояб. 2012 г., г. Гомель / ОКПРООС. – Гомель. – 2012. – С. 160–162.

4. Вострова, Р. Н. Использование осадка сточных вод городских очистных сооружений в качестве компонента при производстве компостов. / Р. Н. Вострова, О. К. Новикова, А. В. Роденко // Водоочистка, 2014. – № 2. – С. 38–44.

5. Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология, 2012. – С. 43–45.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное топливо на основе древесных отходов – одно из направлений решения задач энергосбережения / А. Н. Пехота // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт, 2010. – № 1. – С. 121–122.

References

1. Vostrova, R.N. Second life of sewage sludge of urban treatment facilities/R.N. Vostrova//Izvestia GSU named after F.Skoriny. Gomel, 2009, S.93-98.

2. At the critical line /R.N. Vostrova, V.L. Lisitsin,, N.M. Bowl//Magazine «Water-MAGAZIN» Moscow: 2011, S.85-89.

3. Application of sewage sludge from municipal treatment facilities for composting /R.N. Vostrova, N.S. Archipenko//Transboundary cooperation in the field of environmental safety and environmental protection. Proceedings II scientific-practical. conf.- Gomel: OKPROOS, 2012. - S. 160-162.

4. Vostrova, R.N. Proizvodstvo toplivnyh briketov na osnove osadkov stochnyh vod gorodskih ochistnyh sooruzhenij. /R.N. Vostrova, D.V.Makarov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo, teplojenergetika i geojekologija. – 2012. - S. 43-45.

5. Pehota, A. N. Mnogokomponentnoe toplivo na osnove drevesnyh othodov – odno iz napravlenij reshenija zadach jenergoberezenija / A. N. Pehota // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta. Nauka i transport: nauch.-proizv. zhurnal. – 2010. – № 1. – С. 121–122.

УДК 631.674.6:620.91

КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ НА СКЛОНАХ ОБРАГА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНА НА ПРИМЕРЕ ПАТРИАРШЕГО САДА ГОРОДА ВЛАДИМИРА

*М. И. Голубенко, заслуженный изобретатель Российской Федерации,
Владимир, Россия, e-mail: golubenko-mihail@mail.ru*

*Ю. А. Мажайский, д. с-х. н., профессор, главный научный сотрудник
Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Рязань, Россия,
e-mail: director@mntc.pro*

Реферат

Показан поверхностный капельный полив, который способствует активному росту и формированию корневой системы растений на склонах агро-ландшафта.

Ключевые слова: капельное орошение, склоновые земли, эрозия почвы.

DRIP IRRIGATION ON THE SLOPE OF A RAVINE IN A PARK AREA USING LANDSCAPE DESIGN ON THE EXAMPLE OF «PATRIAR'S GARDEN» IN THE CITY OF VLADIMIR

M. I. Golubenko, Y. A. Mazhayskiy

Abstract

Surface drip irrigation is shown, which promotes active growth and formation of the root system of plants on the slopes of the agricultural landscape.

Keywords: drip irrigation, sloping lands, soil erosion.

Введение

В современных условиях и в перспективе при создании новых и реконструкции эксплуатируемых, например, в городских парках отдыха и на загородных территориях, где трудно использовать только естественный рельеф местности и где нужны площадки с ровным покрытием в виде узких террас от вершины до его подошвы, всевозрастающее внимание должно уделяться энергосбережению и разработке компоновочно-конструктивных решений. К таким системам относятся капельные полносамонапорные оросительные системы, под которыми понимаются системы капельного орошения, функционирующие за счет гидроэнергетического потенциала в рельефных условиях территории – напора, создаваемого в ее напорообразующих узлах за счет положительных перепадов высотного положения по отношению к орошаемому участку источника орошения.

Основная часть

Отметим наличие в отечественной гидромелиоративной практике авторских предложений по компоновочно-конструктивным решениям самонапорных оросительных систем, разработанных рядом отечественных специалистов. Но известные разработки как частично, так и полносамонапорных систем направлены на обеспечение бороздкового и (или) дождевого орошения и не могут использоваться для капельного орошения.

Наряду с этим проблема современной практики развития ирригации испытывает все увеличивающийся дефицит обеспечения ее водных ресурсов.

На рисунке 1 показано состояние эрозии почвы при поливе из шланга (с разбрызгивающей головкой).

Анализ и синтез известных предложений в области разработок в области искусственнонапорных (принудительнонапорных) капельных систем орошения, в частности, для капельного орошения при поливе склоновых земель (агрорландшафта), позволяет сформулировать предложения по компоновочно-конструктивным решениям и методологическим основам проектирования полносамонапорных («безнаосных» или «внешнеэнергозависимых») капельных систем для таких склоновых земель, где склоны оврага от вершины до подошвы склона устраивают каскад террас.

Такие системы капельного орошения могут быть применены на агрорландшафтах, характеризующихся наличием перепадов и уклонами между отметками водоисточника и поверхности земли. Данный высотный перепад должен обеспечивать создание необходимого для функционирования систем капельного

орошения напора. Таким условиям удовлетворяют участки, в рассматриваемой территории склоновых оврагов с агроландшафтом на территории станции юннатов в центральной части города Владимира Владимирской области (рисунок 1). Территория станции юннатов «Патриарший сад» является хорошим примером многоуровневого склонового оврага незамкнутого типа в сторону р. Клязьмы. В качестве исходного материала для аналитического исследования рассмотрена площадь около 4 га земли, где природа уникально создала склоновый овраг. На рисунке 2 показано капельное орошение.



Рисунок 1 – Эрозия почвы



Рисунок 2 – Капельный полив

Здесь произрастают вишни, яблони, многообразие сортов крыжовника и черной смородины. Кроме того, произрастают сорта декоративных растений, разнообразие цветочных видов растений, что в целом делает сад завершенным. Много мест для отдыха со своим дизайном, а в центре подошвы оврага расположен многоструйный фонтан. Крутизна склона разбита на террасы от вершины до подошвы, и по всей ее высоте идут широкие бетонные лестницы, что предполагает использование новых разработок полиэтиленовых напорных трубопроводов и поливного капельного орошения (капельных линий) со своими узлами. Благодаря данной территории, овраг, в основном, имеет склоны на южной и северной сторонах, поэтому здесь имеется многообразие различных видов растений.

Различие температурных перепадов по высоте оврага (порядка 30 м) позволяет выращивать всевозможные растения, встречающиеся в средней полосе

России, т. е. иметь выраженные ландшафтные террасовые участки (площадки), которые могут использоваться для предложенных нами новых технических решений и исключить ручной непроизводительный полив растений шлангами (труд обслуживающего персонала сада достаточно трудоемок) при длительном вегетационном поливе в течение всего летнего сезона, особенно жаркого лета. Следует отметить, что предложенные компоновочно-конструктивные решения обеспечивают для кустарниковых насаждений, цветочных и плодовых растений укрепление корнями почвы с возможностью промачивания ее слоя и при этом исключения размыва террас почвы при сложившемся естественном рельефе территории. Непосредственно сам уровень совместного решения агроландшафтного дизайна использует технологию прогрессивного капельного орошения на крутых склонах оврага с террасами в зависимости от сезонности года и жаркого лета. Стабилизирующие гидрологические условия при разработке в соответствии с крутизной склонов, могут сократить трудозатраты в 3–4 раза. Такой комплексный подход, как полива, так и декорирования, способен превратить такие парки в цветущий красивый сад для посещения туристами, ведения ознакомительной, экскурсионной, методической, научной, популяризационной и воспитательной деятельности с совмещением отдыха людей.

Для устранения помех в работе обслуживающего персонала парка, сохранения поверхности террас на склонах оврага с поливом малыми поливными нормами для различных растений, должна рассматриваться апробированная технология принятия проектных решений, а в процессе исследования – и узловые вопросы разработки проектов полносамонапорных капельных оросительных систем.

Разработка проекта самонапорной капельной такой оросительной системы реализуется в два этапа:

- 1) разработка обосновывающих материалов;
- 2) проведение проектно-изыскательских работ.

Не останавливаясь подробно на описании данных этапов, отметим, что при разработке таких планов полно-самонапорных оросительных систем склоновых оврагов рассматривается поярусное вдоль склоновое размещение террасовых участков (площадок) в составе всей оросительной системы, а значит, и локальное компонование технологического оборудования.

Выбор наиболее приемлемой компоновочно-конструктивной системы определяется расположением орошаемых участков террасирования и самих насаждений с учетом рельефных, почвенных, фенологических, хозяйственных, экономических и других условий при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Расчетные значения водопотребления растений на предварительных стадиях проектирования могут определяться по известным методикам и расчетным зависимостям.

Следует отметить, что обязательным инженерным компонентом самонапорной капельной системы является водозаборный узел, обеспечивающий изъятие оросительной воды из водного объекта, являющегося источником орошения. В качестве водного источника на объекте «Патриарший сад» выступает городской водопровод на прилегающей территории г. Владимира, так как сам парк

расположен в центральной части города (рисунок 2). При таком расположении у данного сада (станции юннатов), имеется большая потребность в техническом развитии, в частности, в разработке принципиальных схем компоновочно-конструктивных решений, функционирующих в рельефных условиях территории – напора по отношению к орошаемому участку источника орошения.

При проектировании технологического оборудования должны решаться вопросы по очистке поливной воды в узле водоподготовки, давления (напора) воды в узле водораспределения и в поливном трубопроводе (поливная лента) с учетом соответствия требуемой равномерной подаче расходов воды по длине при минимизации потерь напора воды и увязке напоров в трубопроводной сети системы от напора на наиболее удаленной капельнице. Это связано с удалением последней капельницы от начала напора в голове трубопровода (водозабора), отсюда и назначаются многие параметры инженерно-технологических средств оросительной системы.

Основная цель работы заключалась в необходимости модернизации имеющейся системы полива растений на первом этапе испытаний предложенной системы капельного полива: кустарниковых насаждений, цветочных и плодовых садов. В связи с этим в качестве пилотного проекта предложено внедрение системы капельного полива склонового характера при проектировании противоэрозионных технологий на склонах, где основой является карта эрозионно-опасных земель, а критерием применения технологии служит недопущение смыва почвы на террасах склона. Кроме того, вне зависимости от источника воды, встраивается стандартный для этой системы водяной фильтр тонкой очистки, счетчик холодной воды, измеритель давления воды, управляемые шаровые краны и т. п., а в конце поливной линии – снабжение сбросным шаровым краном на промыв или на выпуск воды из системы полива.



Рисунок 3 – Обслуживание и наладка системы

При проектировании на таких сложных рельефах местности, как склоновый овраг с террасами, метод открытого капельного полива и его конструктивная привязка для реализации могут быть осуществлены с учетом различных типов

растений, которые потребляют определенное количество воды, что вызывает необходимость регулирования ее подачи при капельном орошении на склонах оврага с террасами парковой зоны, с учетом ландшафтного дизайна парковой зоны.

Исследования и разработки в области техники и технологии ресурсосберегающих способов орошения (капельного), проведены многими учеными и конструкторами научных организаций (на которых здесь не останавливаемся).

Конструктивная реализация такого подхода ресурсосберегающей оросительной техники представлена в результате патентного поиска и тщательного анализа большого количества научной литературы, что позволили сделать вывод о необходимости создания новых перспективных запатентованных технических решений, где можно было бы выполнять в основном все агротехнические мероприятия по защите растений, внесение удобрений и уход за растениями на примере Патриаршего сада города Владимира.

Приведем некоторые созданные новые технические решения авторов, защищенных на уровне интеллектуальной собственности (патенты RU: 2576179, 2576194, 2576441, 2576891, 2579476, 2622910, 2622911, 2652098, 2671140, 2675475, 2685139, а также рекомендованный экспертным отделом ФИПС и включенный в информацию «100 лучших изобретений России» за 2018 год патент RU№ 2642083). Предложенные низконапорные системы капельного орошения имеют широкие функциональные возможности к комплексному подходу на склоновых рельефах оврага (рисунок 3). Успешно проведены производственные испытания опытного участка полива цветочных растений на террасе оврага.

Заключение

1. В определенных рельефных условиях крутосклонных территорий с террасами целесообразно применение полносамонапорных систем капельного орошения, функционирующих за счет напора воды, образующегося в трубопроводной сети за счет падения отметок местности с уровнем воды и связанного с напором в источнике орошения до поверхности земли на орошаемых угодьях.

2. До настоящего времени, несмотря на потребность в создании, в отечественной гидромелиоративной практике, именно при поливе склоновых оврагов отсутствует опыт проектирования полносамонапорных капельных систем с ярусным террасированием трассы полива (по склону), коим является пример Патриаршего сада города Владимира. Следовательно, можно предложить компоновочно-конструктивные решения напорных ярусных систем капельного орошения.

3. Разработка полносамонапорных капельных систем может быть осуществлена при наличии и применении соответствующей методологии их проектирования, предусматривающей использование широкого спектра применяемых предложенных разрабатываемых методик и рекомендаций. Приведенные в статье рекомендации компоновочных схем капельного орошения позволят использовать системы капельного орошения полевых угодий, кустарниковых насаждений, цветочных и плодовых растений. Локальный характер увлажнения почвы при капельном орошении предопределяет расчет влагозапасов непосредственно по контуру увлажнения. Правильный расчет влагозапасов в почве позволяет установить оптимальные сроки и нормы проведения полива таких растений.

ВОЗМОЖНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

*М. С. Дангатарова, ст. преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан,
e-mail: mahridanatarova83@gmail.com*

С. М. Язлыева, ст. преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: sona86.86@mail.ru

*М. К. Нурсахатов, преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан,
e-mail: merdannursahedow5@gmail.com*

*М. Ч. Курбандурдыев, преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан,
e-mail: mkurbandurdyew@mail.ru*

Реферат

На замену трем водонагревательным котлам Ferroli PREHTHERM RSW Государственного энергетического института Туркменистана предлагается установить солнечное водонагревательное оборудование типа Vaillant auro THERM exclusive VTK 570/2. В результате предлагается снизить воздействие вредных газов на окружающую среду и повысить экономическую эффективность за счет экономии природного газа.

Ключевые слова: Солнечные водонагреватели, солнечная энергия, возобновляемые источники энергии, солнечная установка.

POSSIBILITIES OF HEATING INDUSTRIAL FACILITIES BASED ON SOLAR ENERGY IN TURKMENISTAN

M. S. Dangatarova, S. M. Jazlyeva, M. K. Nursahatov, M. Ch. Kurbandurdyev

Abstract

To replace three Ferroli PREHTHERM RSW water heating boilers of the State Energy Institute of Turkmenistan, it is proposed to install solar water heating equipment of the Vaillant auro THERM exclusive VTK 570/2 type.

As a result, it is proposed to reduce the impact of harmful gases on the environment and increase economic efficiency by saving natural gas.

Keywords: Solar energy, solar water heating, renewable energy sources, solar plant.

Введение

В рамках Национальной стратегии развития возобновляемой энергетики до 2030 года, утвержденной Постановлением Уважаемого Аркадага, электроэнергетика является базовой отраслью национальной экономики Туркменистана и обеспечивает функционирование других отраслей страны.

Национальная стратегия развития возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года направлена на диверсификацию источников топлива и энергии, увеличение экспортных мощностей природного газа и

электроэнергии, обеспечение доступной и чистой энергией отдаленных районов, повышение благосостояния населения и развитие промышленности, устойчивое развитие и изменение климата в рамках Парижского соглашения.

Энергетический потенциал возобновляемых источников энергии в стране определен как 110 миллиардов тонн условного топлива в год, а наиболее эффективными направлениями являются солнечная и ветровая энергетика.

Солнечная энергия считается крупнейшим возобновляемым источником энергии. Земля получает примерно $3,9 \cdot 10^{24}$ Дж = $1,08 \cdot 10^{19}$ кВт·ч солнечной радиации в год. Это в 10 000 раз превышает ежегодные потребности человечества в энергии и превосходит мировые запасы углеводородного и ядерного топлива. Климатические и географические условия Туркменистана особенно подходят для широкого использования возобновляемых источников энергии. Продолжительность солнечного сияния в Туркменистане составляет 2768–3081 час в год. По оценкам, потенциал солнечной энергии составляет 1,4 миллиарда тонн условного топлива в год.

В данной научной статье рассматриваются методы использования солнечной энергии – одного из наиболее эффективных видов возобновляемых источников энергии – для горячего водоснабжения Государственного энергетического института Туркменистана.

В настоящее время горячее водоснабжение комплекса зданий Государственного энергетического института Туркменистана обеспечивается тремя водогрейными котлами Ferrolì PRENTHERM RSW немецкого производства. Эти водонагреватели работают на природном газе и эксплуатируются сезонно в течение года.

Например, осенью и зимой используются два котла, а весной и летом – один котел. По полученным данным, два водогрейных котла потребляют до 200 м³ природного газа за 1 час для нагрева воды от холодной до 85° С. Затем горячую воду температурой 85° С направляют в учебные корпуса и общежития. Температура воды, поступающей из построек, составляет 75° С. Установлено, что на нагрев от 75° С до 85° С в установившемся режиме за 1 час расходуется 56 м³ природного газа. Масса 1 часа потребления природного газа определяется по следующей формуле

$$m = V \cdot \rho = 56 \text{ м}^3 \cdot 0,85 \text{ кг/м}^3 = 47,6 \text{ кг},$$

где ρ – плотность природного газа, $\rho = 0,85 \text{ кг/м}^3$.

Теплотворная способность газа определяется по следующей формуле

$$Q_{\text{г}} = 4,4 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \cdot 47,6 \text{ кг} = 209,44 \cdot 10^7 \text{ Дж}.$$

В нашем институте планируется установить солнечный водонагреватель с целью снижения воздействия вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду при сжигании природного газа, а также экономии топлива.

Солнечные водонагреватели

Преобразование солнечной энергии в тепловую происходит за счет поглощения атомами в материале электромагнитного излучения. При этом энергия излучения переходит в кинетическую энергию атомов и молекул, что приводит к нагреву материала. Основным элементом солнечной системы отопления является коллектор. В нем солнечная энергия поглощается и передается теплоносителю (жидкости). Коллекторы бывают разных типов, но все они поглощают как

прямое, так и рассеянное излучение, что позволяет им работать даже в пасмурную погоду. Данный коллектор, учитывая его доступность, способен нагревать жидкости до 100 °С.

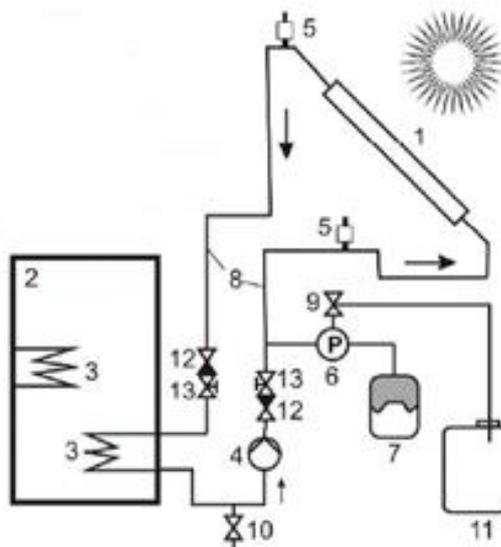
Теплоноситель. В качестве теплоносителя для солнечного теплового коллектора можно использовать воду, смесь воды с антифризом или смесь солей. Теплоноситель должен отвечать следующим требованиям: коэффициент теплопередачи должен быть высоким, коэффициент трения – низким, он должен быть безвредным, не вызывать коррозию труб системы (см. таблицу).

Таблица – Особенности теплоносителей

	температура заморозания (°С)	50°С-теплопроводность Вт (м·°С)	50°С-тепловая емкость (Дж (кг·°С))	Кинематическая устойчивость 20°С ($\frac{mm^2}{s}$)
Вода	0	0,64	4180	1004
Вода гликолевая (60 %/40 %)	-27	0,44	3850	4,3

В данной научной статье предлагается снизить воздействие вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду, и сэкономить природный газ путем установки солнечных водонагревательных устройств вместо водонагревательных котлов Государственного энергетического института Туркменистана .

Схема структуры, предложенной в этой статье, показана на рисунке 1.



1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – теплообменник; 4 – насос; 5 – воздушный эжектор; 6 – манометр; 7 – расширительный бак; 8 – водопроводные трубы; 9 – предохранительный клапан; 10 – сливной вентиль; 11 – запорный кран; 12 – обратный клапан; 13 – шаровой клапан

Рисунок 1 – Схема солнечной установки для горячего водоснабжения

Схема предлагаемой конструкции реализуется в следующей последовательности.

Солнечный коллектор (1) является основной частью гелиоустановки, обеспечивающей преобразование солнечной энергии в тепловую. Выработанное в солнечном коллекторе тепло передается в бак-аккумулятор (2) с теплоносителями (вода, антифриз) по тепловым трубам (8), и тепловая энергия аккумулируется в баке-аккумуляторе, обеспечивая нагрев водяного

теплообменника (3). В солнечном контуре для привода теплообменников используются насосы (4), которые устанавливаются перед входом рабочего устройства в солнечный коллектор. Затем устанавливается воздушный эжектор (5) для удаления воздуха из солнечного коллектора.

Для измерения давления в солнечном коллекторе предусмотрен манометр (6). Необходимо учитывать возможность образования паров в расширительном баке (7) солнечного коллектора. Рекомендуется использовать коррозионностойкие, прочные медные водопроводные трубы (8) с хорошей устойчивостью к высоким температурам. Для предотвращения повреждений предохранительный клапан (9) должен автоматически открываться, когда давление в контуре солнечной батареи достигает критического уровня. В солнечном коллекторе сливной вентиль (10) расположен в нижней части солнечного контура. Солнечный контур заполняется и опорожняется через этот вентиль. При заполнении и опорожнении солнечного контура вентиляционное отверстие должно находиться в открытом положении, чтобы обеспечить выход воздуха. В солнечном контуре повышается давление, которое сначала ощущает расширительный бак, сбрасывающий давление, но если давление превышает критический уровень (обычно 4–6 бар для горячего водоснабжения), открывается предохранительный клапан, и теплоноситель – жидкость или газ – выходит через него в сборную емкость (11). Обратный клапан (12) ограничивает движение теплообменника только в одном направлении. Естественный цикл может происходить ночью в заряженном аккумуляторе солнечного контура. За счет энергии, накопленной в баке-аккумуляторе, теплоноситель нагревается и стремится вверх. Энергия проходит через солнечный коллектор и рассеивается в окружающую среду за счет излучения, теплопроводности и конвекции, так что ночью батарея разряжается за счет естественной циркуляции. Для устранения таких потерь тепла используется обратный клапан, который предотвращает поток теплоносителя только в одном направлении. Шаровой клапан (13) позволяет проводить обслуживание компонентов, расположенных между шаровыми клапанами, без отключения солнечной установки.

Экспериментальная установка состоит из описанной выше воспринимающей панели (1), водопроводящих резиновых трубок (2), соединяющих панель с бачком (3), расположенным вверху над панелью (рисунок 2). Вода, благодаря нагреву ее в каналах панели и, следовательно, уменьшению плотности, движется вверх по этим каналам, попадает в бачок, а новые порции более холодной воды из бачка попадают в нижний штуцер панели. В центре объема бачка расположена термопара Т-1 (4), у входного штуцера панели установлена термопара Т-3 (5), а у выходного штуцера панели установлена термопара Т-2 (6).

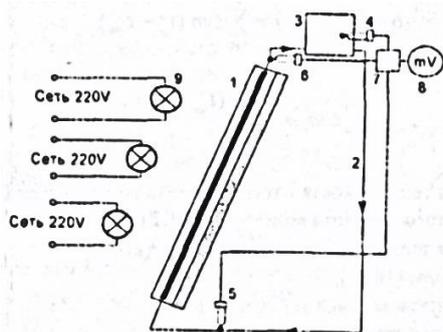


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Термопары Т-1, Т-2, Т-3 (хромель-копель) подходят к переключателю (7) и подключаются к измерительному прибору (8) поочередно. В качестве имитатора солнечного излучения используются лампы с отражателями (9), комбинация включения которых задается преподавателем (система подключения ламп может быть снабжена измерителями для определения мощности излучателей).

В данной исследовании проводится путем расчета [3] коэффициента полезного действия при установке солнечных водонагревателей вместо водогрейных котлов.

КПД солнечного водонагревателя определяется по формуле

$$\eta_{\text{СВП}} = \frac{Q_{\text{СВП}}}{Q_{\text{изл}}} \cdot 100\% = \frac{3,6}{4,8} \cdot 100\% = 75\%,$$

где $\eta_{\text{СВП}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) СВП; $Q_{\text{В}}$ – количество тепла, которое водонагреватель получает с помощью солнца; $Q_{\text{изл}}$ – количество тепла, полученного при испарении.

Солнечный водонагреватель количество поглощенного тепла определяют следующим образом

$$Q_{\text{СВП}} = Q_{\text{В}} + Q_{\text{к}},$$

где $Q_{\text{В}}$ – количество тепла, воспринятого водой; $Q_{\text{к}}$ – количество тепла, воспринятого элементами конструкции СВП соприкасающихся с водой (для реально используемых СВП, имеющих бак-накопитель, объем которого многократно превышает объем воспринимающих панелей, работающих в установившемся режиме в течение светового дня, величиной $Q_{\text{к}}$ можно пренебречь).

$Q_{\text{к}}$ определяется путем наливания в устройства определенного количества воды при определенной температуре и вычисления температурного баланса $\Delta Q_{\text{В}} = Q_{\text{к}}$ системы.

$$\sum_{i=1}^A C_{\text{В}} m_{\text{В}} = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(50 - 35,5)}{(35,5 - 20)} = 39,168 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$\sum_{i=1}^A C_i m_i = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(55 - 38,5)}{(38,5 - 21)} = 39,477 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$\sum_{i=1}^A C_i m_i = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(60 - 41,6)}{(41,6 - 22)} = 39,306 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$\sum_{i=1}^A C_i m_i = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(70 - 47,2)}{(47,2 - 23)} = 39,447 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$\sum_{i=1}^A C_i m_i = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(80 - 52,9)}{(52,9 - 24)} = 39,262 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$\sum_{i=1}^A C_i m_i = C_{\text{В}} m_{\text{В}} \cdot \frac{(t_{\text{зал}} - t_{\text{р}})}{(t_{\text{р}} - t_{\text{нач}})} = 4187 \cdot 10 \cdot \frac{(90 - 58,5)}{(58,5 - 25)} = 39,370 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

где -- удельное тепловое давление i -го элемента солнечного водонагревателя, кДж/кг ; m_i – масса i -го элемента солнечного водонагревателя, кг ; C_B – удельное тепловое давление воды $\frac{4187\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$. M_B – Масса воды, 10кг ; $t_{\text{зал}}$ – температура переливаемой воды, $^{\circ}\text{C}$. t_p – равновесная температура, $^{\circ}\text{C}$. $t_{\text{нач}}$ – начальная температура, $^{\circ}\text{C}$.

$\sum_{i=1}^k c_i m_i$ – значение установлено заранее и равно $39,321 \text{ кДж/кг}$

$$\Delta T = t_{\text{кон.ср}} - t_{\text{нач.ср}} = 67,5 - 22,5 = 45^{\circ}\text{C};$$

$$Q_B = C_B m_B (t_{\text{кон.ср}} - t_{\text{нач.ср}}) = 4187 \cdot 10 \cdot (67,5 - 22,5) = 1884,1;$$

$$Q_K = \sum_{i=1}^k c_i m_i \cdot \Delta t = 39,321 \cdot 45 = 1769,4.$$

Соответственно, Q_{GSG} можно определить следующим образом.

$$Q_{\text{СВП}} = (C_B m_B + c_i m_i \cdot (t_{\text{кон.ср}} - t_{\text{нач.ср}})) = (4187 \cdot 10 + 39,321 \cdot (67,5 - 22,5)) = (41870 + 39,321) \cdot 45 = 3,6\text{М.Дж.}$$

$\eta_{\text{сöһ}}$ – если известно – $Q_{\text{сöһ}}$ можно определить по приведенной ниже формуле

$$Q_{\text{изл}} = \eta_{\text{изл}} \cdot N \cdot \tau_i = 0,89 \cdot 1500 \cdot 3600 = 4806000 = 4,8\text{М.Дж,}$$

где $N = 3$ – электрическая мощность излучения 500 Вт ($500 \cdot 3$); $\eta_{\text{изл}}$ – КПД отражателя; τ_i – время выполнения задачи.

$\eta_{\text{изл}}$ – можно определить по следующей формуле

$$\eta_{\text{изл}} = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{N} \cdot 100\% = \frac{1340}{1500} \cdot 100\% = 89\%.$$

Ожидаемые результаты

1. Будет сэкономлено до 200 м^3 природного газа, используемого за 1 час для нагрева воды до 85°C в холодном состоянии двумя водонагревательными котлами Государственного энергетического института Туркменистана.

2. Установка солнечных водонагревателей позволит снизить воздействие вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду.

3. Широкое использование возможностей цифровой экономики в энергетике, внедрение цифровых технологий, обеспечивающих охрану здоровья человека, внедрение энергосберегающих и экологически чистых цифровых технологий приведет к созданию новых производственных мощностей и повышению экономического и экспортного потенциала страны.

Список цитированных источников

1. Государственная программа энергосбережения на 2018–2024 годы. – Ашхбад : ТГИС. – 2018.
2. Данатарова, М. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики = Adaty däl we gaýtadan dikeldilýän energiýanyň nazary esaslary : учебник для вузов / М. Данатарова, М. Сарыев, Ш. Аллакульев. – Ашхабад : Ýlym. – 2020.
3. Сухоцкий, А. Б. Вторичные источники энергии. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб.-методич. пособие / А. Б. Сухоцкий. – Минск : БГТУ, 2012. – 92 с.

References

1. «Gosudarstvennaja programma jenergosberezhenija na 2018–2024 gody». A: TGIS, 2018.
2. Danatarova M., Saryev M., Sh. Allakul'ev «Teoreticheskie osnovy netradicionnoj i vobnovljaemoj jenergetiki (Adaty däl we gaýtadan dikeldilýän energiýanyň nazary esaslary)» uchebnik dlja vuzov. Ashhabad. Izdatel'stvo «Ýlym» 2020.
3. Suhockij, A. B. Vtorichnye istochniki jenerгии. Netradicionnye i vobnovljaemye istochniki jenerгии. – Minsk, 2012.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

*А. Я. Джумаев, к. ф.-м. н., проректор по научной работе, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан,
e-mail: a.jumayev.tm@gmail.com*

А. С. Какабаев, директор, Марыйская финансово-экономическая средняя профессиональная школа, Мары, Туркменистан

Реферат

«Зеленый» водород является многообещающим решением для декарбонизированной энергетической системы. В статье предлагается пилотный проект солнечно-водородной системы для энергоснабжения удаленных населенных пунктов. В работе разработана система энергоснабжения состоящей из источника электроэнергии – фотоэлектрической солнечной станции установленной мощностью 1,5 МВт, системы получения водорода – электролизера мощностью 1 МВт и 2G генератора с мощностью 115 кВт, а также приведена оценка экономической целесообразности производства «зеленого» водорода.

Ключевые слова: фотоэлектрическая солнечная станция, электролизер, водородная энергия, аккумулялирование энергии Power-to Gas (электроэнергия в газ).

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR-HYDROGEN SYSTEM FOR ENERGY SUPPLY TO REMOTE COMMUNITIES

A. Ya. Jumayev, A. S. Kakabayev

Abstract

Green hydrogen is a promising solution for a decarbonized energy system. The article recommends the pilot project solar-hydrogen system for energy supply to remote communities. Current work presents a modelling project, which consists of electric power source – photovoltaic solar station (PVS) with a capacity of 1,5 MW, system of generation of hydrogen (electrolyzer with a capacity 1 MW) and 2G generator with a capacity 115 kW and also provides an assessment of the economic feasibility of producing «green» hydrogen.

Keywords: photovoltaic solar station, electrolyser, hydrogen energy, Power-to Gas generator.

Введение

В свете ожидаемых изменений и перспектив развития в энергоснабжении очень важная роль отводится исследованиям, направленным на использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), на поиск способов сезонных накоплений энергии и выбор оптимальных способов их производства и использования. Результаты исследования многих ученых показывают, что водород является топливом будущего и как энергоноситель в скором будущем может способствовать решению основных задач перспективного энергоснабжения.

Постановлением Президента Туркменистана от 28 января 2022 года была принята Дорожная карта по развитию международного сотрудничества Туркменистана в области водородной энергии на 2022–2023 гг. В рамках этой Дорожной карты планируется реализовать 18 проектов и мероприятий, в частности, разработать Национальную стратегию развития водородной энергетики в Туркменистане [1]. В рамках реализации Национальной стратегии по развитию возобновляемой энергетики до 2030 года [2], утвержденной постановлением Президента Туркменистана от 4 декабря 2020 года, намечен перечень мер поддержки развития возобновляемых источников энергии, в частности, в направлении развития мини- и микроэлектросетей в удаленных районах будут реализованы следующие меры:

- определение целевых показателей электрификации удаленных районов с использованием автономных систем, мини- и микроэлектросетей;
- разработка нормативных правовых актов, определяющих порядок землеотвода под линии электропередач (опоры линий электропередачи);
- разработка типовых проектов мини- и микроэлектросетей для использования в изолированных районах;
- разработка и производство модульных решений для строительства мини- и микроэлектросетей в изолированных районах;
- разработка упрощенного порядка получения разрешения на строительство мини- и микроэлектросетей в изолированных районах в случае использования типовых проектов и модульных решений;
- определение налоговых льгот, включая льготы на землю, при строительстве мини- и микроэлектросетей в удаленных районах.

В рамках реализации ЦУР ООН предлагается проект обеспечения электрической и тепловой энергии удаленных от центральной системы энергообеспечения населенных пунктов за счет «зеленого» водорода производимого на основе фотоэлектрической солнечной станции.

ЦУР 7. Обеспечение доступа к недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех. В условиях Туркменистана:

- это обеспечение электроснабжения для потребителей удаленных населенных пунктов (пограничные заставы, чабанские селения, хозяйства землепользователей);
- обеспечение недорогого тепло- и хладоснабжения, горячего водоснабжения;
- экспорт электроэнергии в энергодефицитные страны.

Методы исследования, теоретическая база

В разработке проекта использовали методику, предложенную в работе [3]. Для оценки перспектив совместной работы источников солнечной энергии и электролизера для производства водорода для системы энергоснабжения удаленных населенных пунктов в качестве источника электрической энергии была выбрана фотоэлектрическая солнечная станция (ФСС) установленной мощностью 1,5 МВт в населенном пункте Ахалского велаята Гокдепинского этрапа. Принято, что потребителями ФСС являются только электролизер и потребители населенного пункта. В расчетах использовали технические данные электролизера с мощностью 1 МВт (таблица 1). Был выполнен расчет объема электрической энергии, вырабатываемой такой ФСС в течении года

$$E = E_{udsl,\beta} \cdot S = \sum_{i=1}^{12} E_{i,\beta} \cdot \eta_p \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot S, \quad (1)$$

где E –выработка ФСС в год; $E_{удел,\beta}$ – удельная выработка ФСС с учетом наклона β в течении года; S – площадь ФСС; $E_{i,\beta}$ – приход солнечной энергии на оптимально ориентированную площадку с углом наклона $\beta = 36^\circ$ на широтах расположения ФСС в i -том месяце. Потери η_p на ФСС составляет до 25 %, а КПД η_{inv} преобразования из постоянного в переменный ток составляет 98,8 %, принятый КПД η_m солнечного модуля 19,2 %.

Таблица 1 – Технические характеристики электролизерной установки с мощностью 1 МВт

Технические характеристики	Значение и единица измерения
Номинальная мощность	1 МВт
Производительность по водороду	300 Нм ³ /ч или 27кг/ч
Регулирование производительности по водороду	15–100 %
Удельный расход электроэнергии	4,4 кВт·ч/Нм ³ или 48,88 кВт·ч/кг
Давление водорода на выходе	30–200 кгс/см ²
Удельная плотность водорода	0,08988 кг/Нм ³
Нижняя теплотворная способность (НТС)	119,96 МДж/кг (т. е. 33,32 кВт·ч/кг или 3,00 кВт·ч/Нм ³)

В ходе вычислений были приняты следующие допущения:

- количество часов работы электролизера с установленной максимальной; производительностью в день: декабрь – 2 часа; январь, февраль, март, ноябрь – 3 часа; апрель, май, сентябрь, октябрь – 4 часов; июнь, июль, август – 5 часов.

- количество суммарной солнечной энергии, поступающей на поверхность солнечной панели, расположенной в населенном пункте под углом наклона $\beta = 36^\circ$ южной ориентации: Гокдепе, Ахалский веляят – 1803,932 кВт·ч/м² год.

Мощность электролизера была выбрана исходя из того, что ФСС будет покрывать его потребности в электроэнергии, следовательно производство водорода будет зависеть от выработки и режима работы ФСС. Исходя из этого, было решено выбрать электролизер мощностью 1 МВт. Определен баланс энергии, вырабатываемой и потребляемой элементами системы получения водорода (рисунок 1).

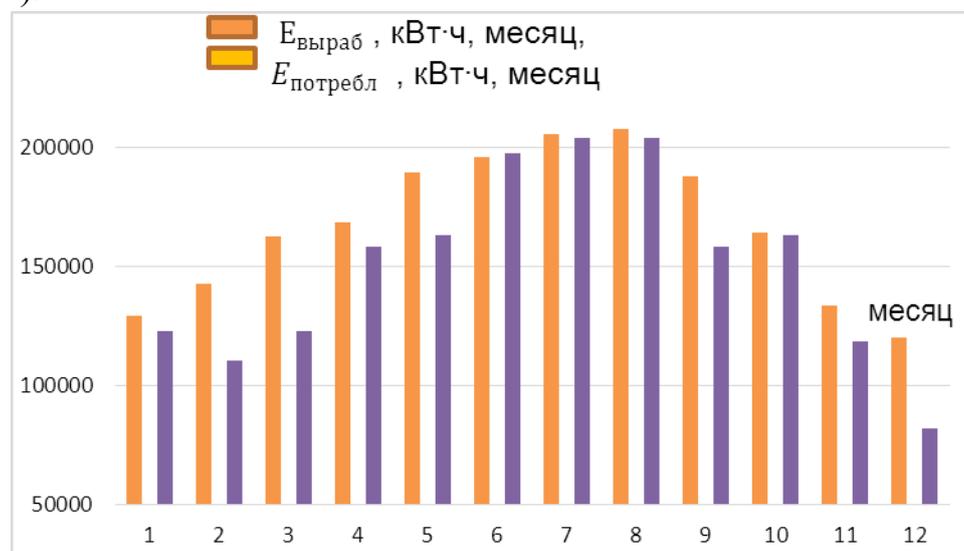


Рисунок 1 – Вырабатываемая электрическая энергия ФСС и потребляемая энергия электролизера

С использованием данных, приведенных в таблице 1, была рассчитана масса водорода (рисунок 2), получаемая выбранным электролизером соответствующей мощностью

$$m = \sum_{i=1}^{12} m_i = \sum_{i=1}^{12} \eta_{el} \cdot t_i \cdot N_i, \quad (2)$$

где m – масса полученного водорода в течении года; m_i – масса водорода, получаемая электролизером в i -том месяце; η_{el} – эффективность работы электролизера; t_i – количество часов работы электролизера с установленной максимальной производительностью в день; N_i – количество дней в месяц.

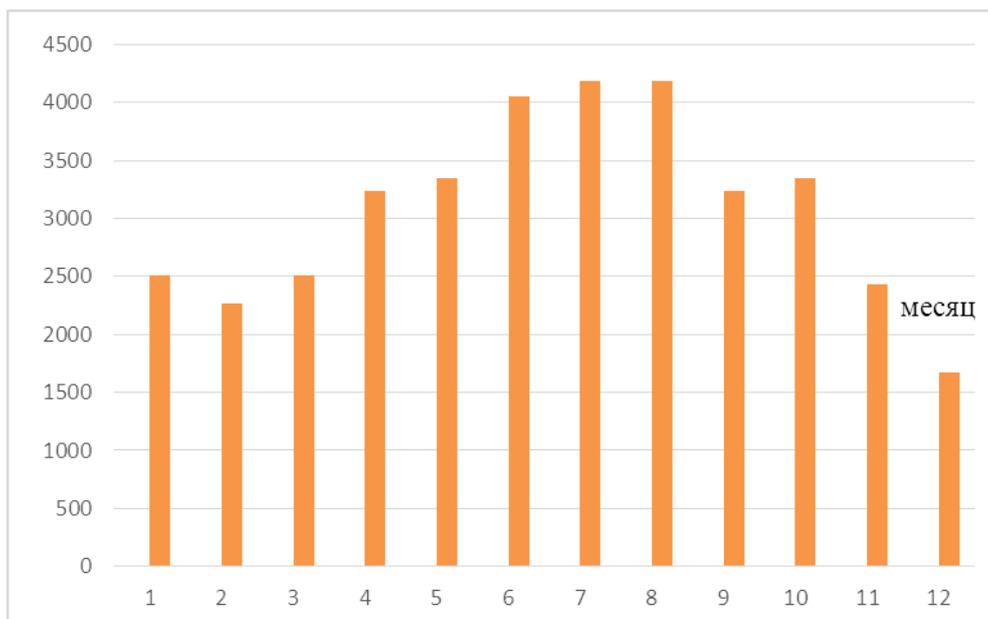


Рисунок 2 – Производство зеленого водорода в течении года

На рисунке 3 приведена общая схема солнечно-водородной системы для энергоснабжения удаленных населенных пунктов, а также на рисунке 4 приведена общая схема ФСС с мощностью 1,5 МВт.

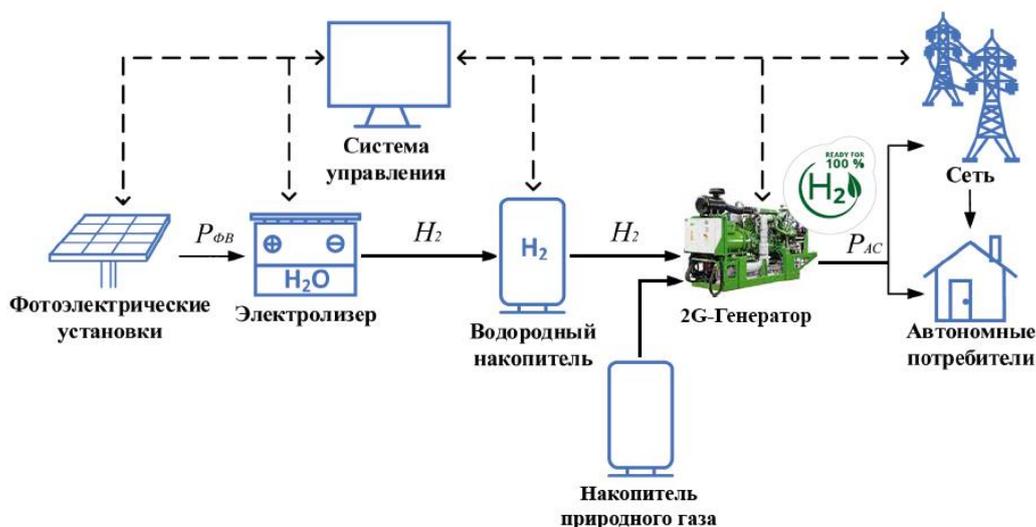


Рисунок 3 – Общая схема солнечно-водородной системы для энергоснабжения удаленных населенных пунктов

Результаты и обсуждение

В статье рассматривается солнечно-водородная система энергоснабжения для удаленных населенных пунктов, состоящая из ФСС и системы производства, хранения и энергетического использования водорода (рисунок 3). Определен баланс энергии, вырабатываемой и потребляемой элементами системы получения водорода (рисунок 1).

В работах [4, 5] рассматривается солнечно-водородная энергетическая система для Саудовской Аравии и анализ эффективности аккумулирования электрической энергии и водорода в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии. Как видно из общей схемы ФСС с мощностью 1,5 МВт (рисунок 4) предлагаемая станция состоит из пяти основных базовых блоков с мощностью 300 кВт. В таблицах 2 и 3 приведены технические характеристики основного базового блока и ФСС мощностью 1,5 МВт.

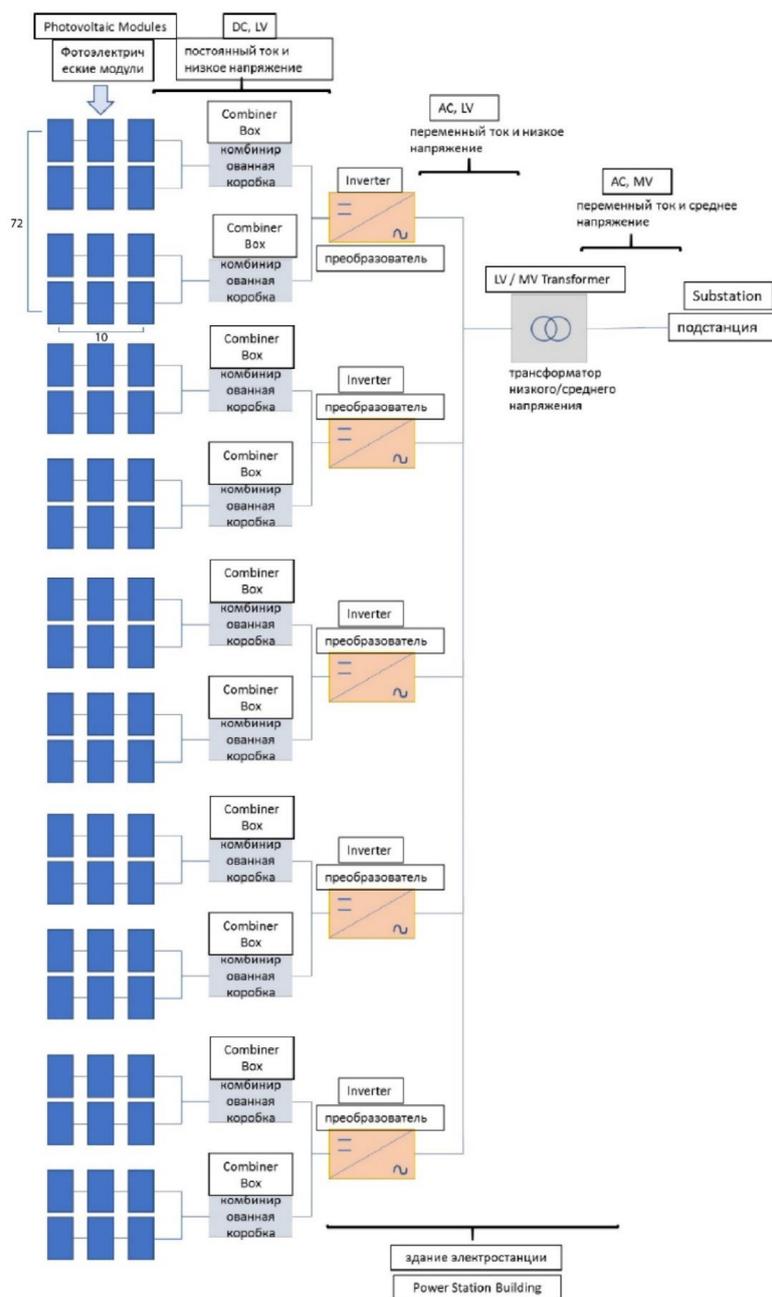


Рисунок 4 – Общая схема ФСС с мощностью 1,5 МВт

Таблица 2 – Технические характеристики основного базового блока

1	Мощность ФСС	300 кВт
2	Мощность фотоэлектрического модуля	415 Вт
3	Количество фотоэлектрических модулей	720
4	Количество фотоэлектрических модулей соединенных последовательно в ряде	10
5	Количество рядов	72
6	Площадь фотоэлектрических модулей	1557 м ²
7	Количество инверторов	1
8	Номинальная мощность инвертора	300 кВт

Таблица 3 – Технические характеристики ФСС мощностью 1,5 МВт

1	Мощность ФСС	1,5 МВт
2	Количество основных базовых блоков	5
3	Мощность основного базового блока ФСС	300 кВт
4	Мощность фотоэлектрического модуля	415 Вт
5	Количество фотоэлектрических модулей	3600
6	Количество фотоэлектрических модулей соединенных последовательно в ряде	10
7	Количество рядов	360
8	Площадь фотоэлектрических модулей	7785 м ²
9	Количество инверторов	5
10	Выработка электроэнергии за год	2,006·10 ⁶ кВт·ч

В пилотном проекте рассматривается строительство фотоэлектрической солнечной станции (ФСС) установленными мощностями 1,5 МВт в Ахалском велаяте в населенном пункте Гокдепинского этрапа. Основные результаты осуществления пилотного проекта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные результаты пилотного проекта

Технические параметры и информация	Значение и единица измерения
Населенных пункт	Ахалский велаят Гокдепинский этрап село Бори
Количество домов	238
Суточное потребление электрической энергии	3570 кВт·ч
Годовое потребление электрической энергии	1303050 кВт·ч
Выработка электрической энергии ФЭС с мощностью 1500 кВт	2006874 кВт·ч
Производства зеленого водорода в течении года	36990 кг
Избыточная производства электрической энергии ФСС	703824 кВт·ч
Сезонное производство зеленого водорода в течении года	14422 кг

В летнее время ФСС производит избыточное количество электроэнергии, превышающее потребность в ней. В нашей системе избыточная электроэнергия поступает в электролизер и используется для производства водорода. Водород хранится в водородном накопителе, а затем, когда выработка ФСС недостаточна для электроснабжения потребителей, используется 2G генератор, который может работать в различных видах топлива, в частности, может работать на природном газе, смеси природного газа и водорода и на чистом водороде.

Перечень ориентировочных статей расходов при строительстве пилотного проекта

Более точно оценить капитальные вложения в солнечно-водородную электростанцию в селе Бори можно только при наличии более детальной информации, такой как стоимость оборудования, заявленная поставщиком, и строительные материалы, стоимость проектирования объекта и строительно-монтажных работ, земельные расходы, расходы на налоги и разрешительные документы и др. Однако можно предоставить общий план расходов, куда входит стоимость солнечных панелей, инверторов, оборудования для электролиза и хранения водорода, оборудования для производства вторичной электроэнергии, стоимость инженерных систем (линии электропередачи, внутренних кабельных сетей, водородопроводов, теплотрассы, водоснабжения, канализации, ливневой системы). Земельные и строительные расходы включают в себя расходы на приобретение земли, строительство и монтаж пилотного проекта, капитальные вложения в инфраструктуру и т. п. Капитальные вложения в инженерные сети могут сильно различаться в зависимости от местоположения объекта.

Стоимость инженерно-технических изысканий и проектирования

Это необходимые вложения для разработки и подготовки всего проекта (разработка ОИ, разработка проектно-сметной документации).

Стоимость разрешительных документов и налогов – различные сборы и налоги могут быть обязательными для таких проектов.

Резерв на неожиданные расходы – важно иметь резервный фонд на случай неожиданных расходов и задержек в проекте. Операционные расходы включают оплату персонала, обслуживание оборудования, обновление и ремонт. Также необходимо учесть, что цены на солнечные панели и оборудование для водородного электролиза меняются со временем. Для точной оценки капитальных вложений следует обратиться к поставщикам оборудования и материалов, к специалистам в сфере солнечной энергетики и водородных технологий, а также учесть местные условия и требования.

Важно отметить, что для солнечных условий села Бори число часов использования установленной мощности будет значительно выше, и это повлияет на показатель объема производства (выработки) электроэнергии. В соответствии с методическими положениями по проведению обоснования эффективности реализации инвестиционных проектов, основным критерием для принятия решения о финансировании является сокращение затрат или увеличение выручки, что приводит к увеличению прибыли инвестора. Ниже приведем расчет капитальных затрат на реализацию проекта солнечно-водородной станции для села Бори с фотоэлектрической станцией мощностью 1,5 МВт (таблица 5). Поскольку инвестиции представляют долгосрочное вложение экономических ресурсов с целью создания и получения чистых выгод в будущем, для оценки инвестиций необходимо все требуемые вложения и отдачу по проектам оценить с учетом временной ценности денег, т. е. с учетом того обстоятельства, что сумма денег, находящаяся в распоряжении в настоящее время, обладает большей ценностью, чем такая же сумма в будущем.

Заклучение

В рассматриваемом пилотном проекте предполагается строительство фотоэлектрической солнечной станции (ФСС) мощностью 1,5 МВт в Ахалском велаяте в населенном пункте Гокдепинского этрапа. Реализация проекта позволяет обеспечить энергоснабжение данного населенного пункта или производство в течение года 36990 кг «зеленого» водорода. Избыточное производство электрической энергии ФСС используется для производства водорода (14422 кг), который рассматривается как сезонное аккумулирование электрической энергии. При оценке эффективности вариантов целесообразно использовать концепцию дисконтирования потока реальных денег. Срок окупаемости служит для определения степени рисков реализации проекта и ликвидности инвестиций по рассматриваемому варианту. Все названные расчеты рекомендуется провести на стадии разработки предварительного ТЭО и уточнить на стадии разработки обоснования инвестиций.

Таблица 5 – Капитальные затраты на реализацию проекта солнечно-водородной станции для села Бори

Наименование комплекса работ, услуг, оборудования		Евро
1	ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ	97 500
2	ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, в том числе:	1 696 700
	Солнечные панели (3600 шт.)	738000
	Инвертор (5 шт.)	77 700
	Стол с креплением (288 шт.)	216 000
	Оборудование АСУ ТП, связи и сигнализации	92 500
	Электролизер (мощность 1 МВт)	400 000
	Микро турбины (2 G генераторы, 115 кВт)	172 500
3	СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ в т. ч.	524 700
	Подготовка территории строительства	10 700
	Фундаменты	56 000
	Сети электроснабжения	84 000
	Монтаж оборудования	374 000
4	ПУСКО-НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ	42 000
5	ВРЕМЕННЫЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	18 000
7	СТРАХОВАНИЕ	15 000
8	НЕПРЕДВИДЕННЫЕ ЗАТРАТЫ	45 000
	ИТОГО:	2 438 900
	Установленная мощность, кВт	1 500
	Удельные капиталовложения, евро/кВт	1 626

Список цитированных источников

1. Türkmenistanyň wodorod energiýasy babatda halkara hyzmatdaşlygy ösdürmek boýunça 2022-2023-nji ýyllar üçin ÝOL KARTASY. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2022-nji ýylyň 28-nji ýanwarynda çykaran 2581-nji Karary bilen tassyklanyldy.

2. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan. Türkmenistanda 2030-njy ýyla çenli gaýtadan dikeldilýän energetikany ösdürmek boýunça Milli Strategiýa. Aşgabat, 2020ý. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2020-nji ýylyň 04-nji dekabrynda çykaran 2007-nji Karary bilen tassyklandy.

3. Jumayev, A . Pilot project on «green» hydrogen generation at the territory of Turkmenistan // Journal of Physics: Conference series. 2723(2024)012010.

4. Алморген, С. Солнечно-водородная энергетическая система для Саудовской Аравии / С. Алморген, Т. Н. Везироглу // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 2018. – № 07-09. – С. 30–42.

5. Марченко, О. В. Анализ эффективности аккумулирования электрической энергии и водорода в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии / О. В. Марченко, С. В. Соломин // Вестник Иркутского гос. технич. ун-та. – 2018. – Т. 22. – № 3. – С.183–193. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-3-183-193.

References

1. «Türkmenistanyň wodorod energiýasy babatda halkara hyzmatdaşlygy ösdürmek boýunça 2022-2023-nji ýyllar üçin ÝOL KARTASY». Türkmenistanyň Prezidentiniň 2022-nji ýylyň 28-nji ýanwarynda çykaran 2581-nji Karary bilen tassyklanyldy. [Road map, on the development of the international cooperation in the field of the hydrogen energy for 2022-2023 years, was adopted by the decree of the President of Turkmenistan on January 28, 2022]. (In Turkmen)

2. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Türkmenistanda 2030-njy ýyla çenli gaýtadan dikeldilýän energetikany ösdürmek boýunça Milli Strategiýa. Aşgabat, 2020ý. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2020-nji ýylyň 04-nji dekabrynda çykaran 2007-nji Karary bilen tassyklandy [«National Strategy for the Development of Renewable Energy in Turkmenistan by 2030» approved by the Decree of the President of Turkmenistan. Ashgabat, 2020. Approved by the Resolution of the President of Turkmenistan dated December 4, 2020, 2007]. (In Turkmen)

3. Jumayev A . Pilot project on «green» hydrogen generation at the territory of Turkmenistan . Journal of Physics: Conference series. 2723(2024)012010.

4. Almorgen S., Veziroglu T.N. Soar-hydrogen energy system for Saudi Arabia // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. No.07-09. (255-257). 2018.

5. Marchenko O.V., Solomin S.V. Analysis of electric energy and hydrogen accumulation efficiency in power systems with renewable energy sources // Proceeding of ISTU Vol. 22, No. 3, 2018.

УДК 628.3

ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ СВИНЦА ФИЛЬТРАМИ, ЗАГРУЖЕННЫМИ ИЗМЕЛЬЧЕННЫМ БРИКЕТИРОВАННЫМ ТОРФОМ

Б. Н. Житенев, к. т. н., доцент, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: gitenev@tut.by

Д. Д. Сенчук, м. т. н., аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: senchuk.d.d@mail.ru

Реферат

Рассмотрены вопросы загрязнения пресных водоемов производственными сточными водами содержащих ионы свинца Pb^{+2} , на основании проведенных исследований установлено: эффективность сорбции снижается с увеличением крупности зерен брикетированного торфа; наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течение 5 минут контакта, затем он замедляется. В течение 5 минут удаляется до 98 % ионов Pb^{+2} , сорбционная емкость при насыщении составила по Pb^{+2} – 0,8205 мМоль/г (170,00 мг/г).

Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных. На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов свинца.

Ключевые слова: очистка производственных сточных вод, ионы Pb^{+2} , сорбция, гранулированный торф, фильтр.

PURIFICATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM LEAD IONS WITH FILTERS LOADED WITH CRUSHED BRIQUETTED PEAT

B. N. Zhitenev, D. D. Senchuk

Abstract

The article considers the issues of pollution of fresh water bodies with industrial wastewater containing lead ions Pb^{+2} . Based on the conducted studies, it was established that the sorption efficiency decreases with increasing grain size of briquetted peat; The process of ion sorption by briquetted peat is most effective during 5 minutes of contact, then it slows down. Up to 98% of Pb^{+2} ions are removed within 5 minutes, the sorption capacity at saturation was: for Pb^{+2} - 0.8205 mmol/g (170.00 mg/g). The obtained research results indicate the possibility of using briquetted peat as an effective sorbent for wastewater treatment. Based on the conducted studies, a technology for water purification from lead ions has been developed.

Keywords: industrial wastewater treatment, ions Pb^{+2} , sorption, granular peat, filter.

Введение

В настоящее время ведутся активные исследования по методам очистки сточных вод от таких токсичных металлов, как кадмий, свинец, медь и др. **Свинец** – один из важнейших видов минерального сырья и в то же время – глобальный загрязнитель окружающей среды. В природе самородный металл встречается редко, однако содержится в большом количестве минеральных отложений и руд. В естественные водоемы соединения свинца попадают с атмосферными осадками, из-за вымывания пород и почв. Но самый большой вклад в загрязнение водных источников вносит деятельность человека. Огромное количество свинца поступает в воду со стоками промышленных и горно-обогатительных предприятий. Использование тетраэтилсвинца в автомобильном топливе, бытовые отходы, сжигание угля – также одни из самых распространенных способов попадания тяжелых металлов в грунтовые и открытые воды. Нередки случаи присутствия свинца в централизованном водоснабжении. Во многих домах старого образца еще остались свинцовые трубы или элементы трубопровода, частицы которых в процессе коррозии их поверхности попадают прямо в квартиры. По требованиям СанПин концентрация соединений свинца в питьевой воде не должна превышать 0,03 мг/л. Однако это вещество крайне токсично и имеет свойство накапливаться в организме, что при регулярном употреблении даже микроскопических доз способно вызывать тяжелые отравления как в острой, так и в хронической формах. В работах [1–19] приведены результаты исследований по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов путем использования модификаций природного торфа.

Обзор литературных данных позволяет сделать вывод о том, что разработка усовершенствованных технологий сорбционной очистки сточных вод с использованием торфа является весьма перспективным направлением. В литературе отсутствуют достаточно полные данные об использовании брикетированного торфа в качестве сорбента такого токсичного металла? как свинец. В Республике Беларусь имеются значительные запасы торфа, масштабные производства торфобрикетов – это создает реальные предпосылки для выпуска дешевых, экологически безопасных сорбентов на основе модифицированного брикетированного торфа. Настоящая работа посвящена разработке технологии очистки производственных сточных вод от ионов свинца гранулированным брикетированным торфом.

Экспериментальная часть

Материалы и методы исследований

В процессе исследований использовались физико-химические, технологические, математические методы. Эксперименты производились с использованием торфобрикетов производства торфобрикетного завода «Гатча-Осовское», расположенного в Жабинковском районе Брестской области. Брикет механическим способом гранулировали, затем рассеивали через набор сит калибром 1,00 – 2,00 – 3,25 – 3,75 – 4,50 – 5,50 мм. В результате были получены образцы крупностью < 1 мм, 1,00 – 2,00 мм, 2,00 – 3,25 мм, 3,25 – 3,75 мм, 3,75 – 4,50 мм, 4,50 – 5,50 мм. Исследовалось сорбция ионов свинца Pb⁺². В стакан помещали 100 мл раствора и добавляли 10 г гранул торфа. Затем суспензию перемешивали с помощью механических мешалок в течение 3, 5, 10, 20, 40, 60 минут. Растворы фильтровали через бумажный фильтр и определяли остаточное содержание ионов свинца Pb⁺². Анализ пробы модельного раствора на содержание Pb⁺² выполняли с помощью анализатора вольтамперометрического АВА-3.

Результаты и их обсуждение

Эффект очистки воды от ионов Pb⁺² рассчитывался по формуле

$$\mathcal{E} = ((C_1 - C_2)/C_1) \cdot 100, \%, \quad (1)$$

где C₁, C₂ – соответственно? массовая концентрация ионов до и после опыта.



Рисунок 1 – Зависимость эффекта сорбции ионов Pb⁺² от продолжительности контакта

Наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течение 5 минут контакта, затем он замедляется. В течение 5 минут удаляется 98 % ионов Pb^{+2} , (рисунок 1). Исследования сорбции ионов в процессе динамического фильтрования выполнялись на установке, состоящей из емкости с имитатором сточной воды, пьезометра, фильтровальной колонки, верхнего слоя щебня, гранул торфобрикета, нижний слой гравия, приемной емкости, крана для регулировки расхода (рисунки 2, 3).

Имитатор сточной воды готовился на водопроводной воде путем добавления солей. Содержание ионов определялось с помощью анализатора АВА-3. Скорость фильтрования (время пребывания) имитатора в загрузке фильтра регулировалось краном. Для измерения потерь напора в загрузке использовался пьезометр. На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов свинца, включающая следующие операции (рисунок 4).

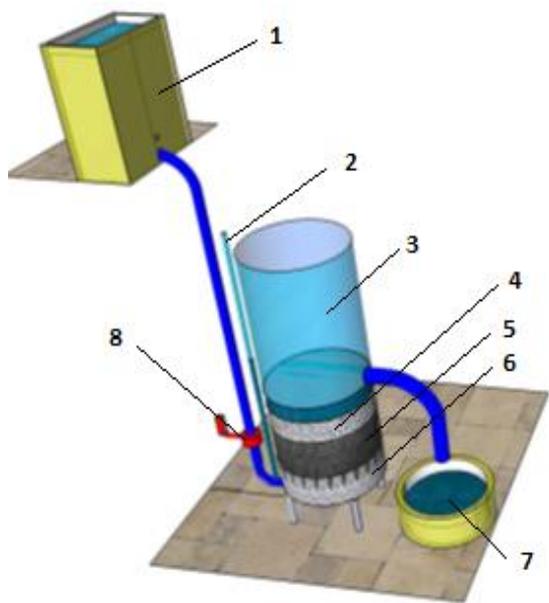
1. Грануляцию торфобрикетов:
 - измельчение в молотковой дробилке;
 - рассеивание на фракции во вращающихся барабанных ситах.
2. Подготовку фильтрующих кассет:
 - загрузку гранул в кассеты (фильтрующие мешки, помещенные в сетчатые цилиндры);
 - замачивание кассет.
3. Загрузку кассет в фильтры.
4. Фильтр-цикл до достижения в фильтрате ПДК, установленной для извлекаемого иона.
5. Извлечение кассет из фильтров, транспортировка на площадки для подсушивания.
6. Сжигание торфа (способ сжигания должен исключать улетучивание извлеченных загрязнений).
7. Утилизацию золы с извлечением металлов.

Заключение

Проведенные исследования процессов сорбции брикетированным торфом ионов свинца Pb^{+2} позволили установить следующее.

1. Эффективность сорбции снижается с увеличением крупности зерен брикетированного торфа.
2. Сорбционная емкость при насыщении составляет по Pb^{+2} – 0,8205 мМоль/г (170,00 мг/г).
3. Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов Pb^{+2} .

На основании проведенных исследований разработана технология очистки воды от ионов свинца гранулами из брикетированного торфа.



1 – емкость с имитатором сточной воды; 2 – пьезометр; 3 – фильтровальная колонка; 4 – верхний слой щебня; 5 – гранулы торфобрикета; 6 – нижний слой гравия; 7 – приемная емкость; 8 – кран для регулировки расхода

Рисунок 2 – Схема установки для исследования сорбционной емкости брикетированного торфа в динамических условиях



Рисунок 3 – Общий вид установки для исследования сорбционной емкости брикетированного торфа в динамических условиях



Рисунок 4 – Технология очистки воды от ионов свинца гранулами из брикетированного торфа

Список цитированных источников

1. Богуш, А. А. Применение природных материалов для очистки техногенных вод / А. А. Богуш, Т. Н. Мороз, О. Г. Галкова, О. М. Маскенская // Экол. пром. пр-ва. – 2007. – № 2. – С. 63–69.
2. Богуш, А. А. Применение торфо-гуминовых веществ для снижения техногенного влияния отходов на окружающую среду / А. А. Богуш, А. Н. Трофимов // Хим. пром-сть. – 2005. – № 3 (82). – С. 153–158.
3. Арканова, И. А. Новые фильтрующие материалы для очистки природных вод. / И. А. Арканова, Д. М. Китаев, Ю. Д. Луценко : материалы 46 Междунар. науч.-технич. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству», 2007 г. г. Челябинск / Челяб. гос. агроинж. ун-т. – 2007. – Ч. 3. – С. 164–169.
4. Ulmanu, Mihaela Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat / Mihaela Ulmanu, Ildiko Anger, Yolanda Fernandez Water [at al.] // Air, and Soil Pollut, 2008. – Vol. 1-4 (194). – P. 209–216.
5. Патент 2174439 Россия, МПК 7B01J 20/28, 20/24, 20/30. Сорбционно-фильтровальная загрузка для очистки воды и способ ее производства : . N 2000116957/12 : заявлено 26.06.2000 : опубл. 10.10.2001 / Косов В. И., Баженова Э. В. ; заявитель Тверской гос. техн. ун-т.
6. Косов, В. И. Исследования сорбентов на природной основе для очистки промстоков от цинка / В. И. Косов, Э. В. Баженова : сб. материалов Междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов», дек. 1999 г., г. Пенза : Приволж. дом знаний. – 1999. – С. 130–133.
7. Косов, В. И. Очистка промстоков от ионов цинка с применением гранулированного торфа / В. И. Косов, Э. В. Баженова, Ф. Ф. Чаусов // Тверской ГТУ. Хим. и нефтегаз. машиностр. – 2001. – № 7. – С. 38–40.
8. Янг-Тсе, Ханг Очистка сточных вод производства по переработке картофеля с использованием адсорбции торфом и глиной и биопрепаратов. Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов / Ханг Янг-Тсе, Г. Ло Говард : межвуз. сб. науч. трудов. Казан. гос. архит.-строит. акад. – Казань : КГАСА. – 1999. – С. 129–132.
9. Патент 6429171 США, МПК 7B01J 20/22. Способ приготовления сорбента для очистки сточных вод = Method of processing peat for use in contaminated water treatment : N 09/514197 : заявл. 25.02.2000 : опубл. 06.08.2002 : НПК 502/404 / Clemenson Lyle J. ; Environmental Filtration, Inc.
10. Sun Qing-ye. Удаление хрома из водных растворов модифицированным торфом / Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang // Chengshi huanjing yu chengshi shengtai=Urban Environ. and Urban Ecol. 2002. – V. 15, N 3. – С. 5–8.
11. Баженова, Э. В. Экспериментальное обоснование способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов торфяными модификациями : автореф. дис ... канд. техн. наук : 25.00.26 / Баженова, Э. В. – Тверской гос. техн. ун-т, Тверь, 2002. – 22 с.
12. Томсон, А. Перспективы использования торфа для решения комплексной проблемы охрана окружающей среды. Физика и химия торфа в решении проблем экологии / А. Томсон, А. С. Самсонов, З. М. Алещенкова [и др.] : тезисы докл. Междунар. симпозиума, 3–7 нояб. 2002 г., г. Минск. – С. 158–160.
13. Вялкова, Е. И., Большаков А. А. Очистка сточных вод с использованием природных материалов и отходов производства. Актуальные проблемы современного строительства / Е. И. Вялкова, А. А. Большаков : сб. науч. трудов 32 Всеросс. науч.-технич. конф., 25–27 марта, 2003 г., г. Пенза / Строительные материалы и изделия. –2003. – Ч. 1. – С. 194–198.
14. Ma, W. Удаление из сточных вод тяжелых металлов методом биосорбции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass / W. Ma, J. M. Tobin // Water Res. – 2003. – V. 37, N 16. – С. 3967–3977.
15. Ho, Y. S. Сорбция Cu (2+) из водных растворов торфом Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. / Ho Y. S., McKay G Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1–4, с. 77–97. Библ. 62. Англ. NL. ISSN 0049-6979
16. Sun, Q. Y. Адсорбция свинца и меди из водных растворов модифицированным торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles / Q. Y. Sun, P. Lu, L. Z. Yang // Environ. Geochem. and Health. – 2004. – V. 26, N 2. – С. 311–317.
17. Дремичева, Е. С. Изучение кинетики сорбции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод / Е. С. Дремичева // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2017. – Т. 58. – № 4.

18. Житенёв, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук // Вестник БрГТУ. – 2019. – № 2 (104) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 61–65.

19. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, Вып. 11. – С. 1534–1545.

References

1. Bogush A. A., Moroz T. N., Galkova O. G., Maskenskaja O. M. *Primenenie prirodnyh materialov dlja ochistki tehnogennyh vod* / *Jekol. prom. pr-va.* – 2007. – № 2. – S. 63–69.

2. Bogush A. A., Trofimov A. N. *Primenenie torfo-guminovyh veshhestv dlja sni-zhenija tehnogenogo vlijaniya othodov na okruzhajushhuyu sredu* / *Him. prom-st'.* – 2005. 82. – № 3. – S. 153-158.

3. Arkanova I. A., Kitaev D. M., Lucenko Ju. D. *Novye fil'trujushhie materialy dlja ochistki prirodnyh vod. Materialy 46 Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Dostizhenija nauki - agropromyshlennomu proizvodstvu»*, Cheljabinsk, 2007. Ch. 3. Cheljabinsk: Cheljab. gos. agroinzh. un-t. 2007. – S. 164-169.

4. Ulmanu Mihaela, Anger Ildiko, Fernandez Yolanda, Castrillon Leonor, Maranon Elena. *Udalenie hroma(VI), kadmija i svinca iz vodnyh rastvorov sorbciej torfom. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat. Water, Air, and Soil Pollut.* 2008. 194, № 1-4. – S. 209-216.

5. Kosov V. I., Bazhenova Je. V. *Sorbcionno-fil'troval'naja zagruzka dlja ochistki vody i sposob ee proizvodstva. Pat. 2174439 Rossiya, MPK 7 B 01J 20/28, 20/24, 20/30. Tver. gos. tehn. un-t. N 2000116957/12; Zajavl. 26.06.2000; Opubl. 10.10.2001.*

6. Kosov V. I., Bazhenova Je. V. *Issledovanija sorbentov na prirodnoj osnove dlja ochistki promstokov ot cinka. Mezhdunarodnaja nauchno- prakticheskaja konferencija «Problemy inzhenernogo obespechenija i jekologii gorodov, Penza, dek., 1999: Sbornie materialov. Penza: Izd-vo Privolzh. doma znanij. 1999. – S. 130-133.*

7. Kosov V. I., Bazhenova Je. V.*, Chausov F. F. (Tverskoj GTU). *Ochistka promstokov ot ionov cinka s primeneniem granulirovannogo torfa. Him. i neftegaz. mashinostr.* 2001, № 7. – S. 38-40.

8. Jang-Tse Hang, Lo Govard G. *Ochistka stochnyh vod proizvodstva po pererabotke kartofelja s ispol'zovaniem adsorbicii torfom i glinoj i biopreparatov. Is-sledovanie problem vodosnabzhenija, vodootvedeniya i podgotovki speciali-stov: Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Kazan. gos. arhit.- stroit. akad. Kazan': Izd-vo KGASA. 1999. – S. 129-132.*

9. *Sposob prigotovlenija sorbenta dlja ochistki stochnyh vod. Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Pat. 6429171 SShA, MPK 7 B 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Zajavl. 25.02.2000; Opubl. 06.08.2002; NPK 502/404.*

10. Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang. *Udalenie hroma iz vodnyh rastvorov modifirovannym torfom. Chengshi huanjing yu chengshi shengtai=Urban Environ. and Urban Ecol.* 2002. 15, № 3. – S. 5-8.

11. Bazhenova Je. V. *Jeksperimental'noe obosnovanie sposobov ochistki stochnyh vod ot ionov tjazhelyh metallov torfjanymi modifikacijami: Avtoref. dis. na so-isk. uch. step. kand. tehn. nauk. Tver. gos. tehn. un-t, Tver', 2002. – 22 s.*

12. Tomson A., Samsonova A. S., Aleshhenkova Z. M., Nikolaenkov A. I., Meleshhenko B. A., Sokolova T. V., Navosha Ju. Ju., Pehtereva V. S., Chistjakova E. I., Kuhar-chik V. V. *Perspektivy ispol'zovanija torfa dlja reshenija kompleksnoj proble-my ohrana okruzhajushhej sredy. Fizika i himija torfa v reshenii problem jekologii: Tezisy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma, Minsk, 3-7 nojab., 2002. Minsk: Tonpik. 2002. – S. 158-160.*

13. Vjalkova E. I., Bol'shakov A. A. *Ochistka stochnyh vod s ispol'zovaniem prirodnyh materialov i othodov proizvodstva. Aktual'nye problemy sovremen-nogo stroitel'stva: Sbornik nauchnyh trudov 32 Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Penza, 25-27 marta, 2003. Ch. 1. Stroitel'nye materialy i izdelija. Penza: Izd-vo PGASA. 2003. – S. 194-198.*

14. Ma W., Tobin J. M. *Udalenie iz stochnyh vod tjazhelyh metallov metodom bio-sorbicii. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass. Water Res.* 2003. 37, № 16. – S. 3967-3977.

15. Ho Y. S., McKay G. Sorbcija Cu(2+) iz vodnyh rastvorov torfom. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2004. 158, № 1-4. – S. 77-97.
16. Sun Q. Y., Lu P., Yang L. Z. Adsorbicija svinca i medi iz vodnyh rastvorov modificirovannym torfom. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles. *Environ. Geochem. and Health.* 2004. 26, № 2. – S. 311-317.
17. Dremicheva E. S. Izuchenie kinetiki sorbcii na torfe ionov zheleza(III) i medi(II) iz stochnyh vod/Vestn. Mosk. un-ta. ser. 2. Himija. 2017. t. 58. № 4.
18. Zhitenjov, B. N. Issledovanie sorbcionnyh svojstv briketirovannogo torfa dlja ochistki stochnyh vod ot ionov tjazhelyh metallov / Zhitenjov B. N., Senchuk D. D. // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, BrGTU, 2019, № 2 (104) / Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo, teplojenergetika, geojekologija, S. 61-65.
19. Zhitenev B. N., Gurinovich A. D., Senchuk D. D. Issledovanie sorbcionnyh svojstv briketirovannogo torfa dlja ochistki stochnyh vod ot ionov kadmija, svinca i medi // Vestnik MGSU. 2020. T. 15. Vyp. 11. S. 1534–1545. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1534-1545.

УДК 556.18+330

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*О. И. Исаев, к. э. н., старший научный сотрудник, ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ
им. А. Н. Костякова», Москва, Россия, e-mail: issaevoleg@mail.ru*

Реферат

Статья посвящена вопросам управления водохозяйственным комплексом в России на основе экономической оценки водных ресурсов. Рассмотрены доступность и спрос на водные ресурсы в разных регионах Российской Федерации. Предложена оценка водообеспеченности регионов с учетом среднего многолетнего стока рек. Проанализированы факторы, влияющие на экономическую оценку водных ресурсов. Предложены подходы к совершенствованию экономической оценки водных ресурсов в том числе на основе международного опыта.

Ключевые слова: водные ресурсы, водохозяйственный комплекс, экономическая оценка водных ресурсов, дефицит водных ресурсов, источники финансирования водохозяйственного строительства

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WATER MANAGEMENT BASED ON THE WATER RESOURCES ECONOMIC ASSESSMENT ENHANCEMENT

O. I. Isaev

Abstract

The article is devoted to the issues of improving the economic assessment of water resources in the management of the water management complex. The availability and use of water resources in the regions of the Russian Federation are considered. An assessment of the water availability of the regions is proposed, taking into account the average long-term river flow. The factors influencing the economic

assessment of water resources are considered. Approaches to improving the economic assessment of water resources are proposed

Keywords: water resources, water management complex, economic assessment of water resources, water scarcity.

Введение

Одной из важнейших проблем, с которыми сталкивается человечество в начале XXI века, считается изменение климата и его последствия. Повышение средней температуры климатической системы Земли, происходящее уже более века, имеет как естественные, так и антропогенные причины. Потепление может оказывать влияние на изменения ряда сопутствующих климатических характеристик в климатической системе. В частности, это касается гидрологического цикла, таких показателей как средние сезонные осадки и показатели экстремальности режима осадков, облачность, сезонный снежный покров, речной сток, замерзание и вскрытие рек.

Увеличение средней температуры, наряду с ростом мировой экономики и экстенсивным развитием сельского хозяйства с целью обеспечить растущее население планеты доступным продовольствием, обуславливают увеличение объемов использования водных ресурсов. Это, в свою очередь, является предпосылкой к росту объемов водохозяйственного строительства.

В сложившихся условиях вода становится стратегическим ресурсом развития стран, а ее добыча, подготовка и транспортировка – важнейшими государственными задачами. Основная функция государственного управления водным хозяйством – создание условий для обеспечения населения и экономики водными ресурсами, рационального водопользования в стране, необходимого уровня финансирования водного хозяйства, улучшения качества водных ресурсов, сокращения неблагоприятного воздействия вод.

С точки зрения экономических отношений, связанных с использованием и охраной водных ресурсов, важное значение имеет обоснованное введение экономической оценки водных ресурсов в практику формирования платежей за их использование и ее дифференциация с учетом природных и социально-экономических факторов. Ее использование в системе управления водохозяйственной деятельностью позволит обеспечить финансовую и организационную основу модернизации водохозяйственного комплекса. Негативное следствие неравномерности распределения водных ресурсов обуславливается не столько разными показателями удельной водообеспеченности в расчете на единицу площади, сколько их расхождением с плотностью населения и распределения производственных сил по территории. Сопоставив средние многолетние значения поверхностных водных ресурсов с площадью субъектов Российской Федерации, можно ранжировать территорию по естественной водообеспеченности ($\text{км}^3 / \text{год}$ речного стока на 1 км^2 территории региона), без учета подземных вод и перераспределения стока. Выполненный расчет удельной водообеспеченности субъектов Российской Федерации за счет поверхностных водных ресурсов показал, что эта величина изменяется от 0,01 до $6,5 \text{ км}^3 / \text{год}$ с 1 км^2 . На основе экспертной оценки выделены определенные градации удельной водообеспеченности регионов в зависимости от удельного показателя. Удельная водообеспеченность определяет теоретическую возможность подачи водных ресурсов, и чем она ниже – тем выше стоимость ресурса, что означает рост необходимости государственной поддержки.

Управление использованием водных ресурсов призвано решить ряд основных проблем. Среди них стоит отметить значительный рост материального ущерба от негативного воздействия вод, который не в последнюю очередь вызван старением основных фондов водохозяйственного комплекса.

Недостаточная эффективность действующей в России системы управления водохозяйственной деятельностью является одной из главных причин кризисного состояния водного хозяйства. Совершенствование организации системы управления, в том числе, экономических взаимоотношений при использовании и охране водных ресурсов, должно стать основой решения существующих проблем водохозяйственного комплекса. С точки зрения экономических отношений, связанных с использованием и охраной водных ресурсов, важное значение имеет обоснованное введение экономической оценки водных ресурсов в практику формирования платежей за их использование и ее дифференциация с учетом природных и социально-экономических факторов. Ее использование в системе управления водохозяйственной деятельностью позволит обеспечить финансовую и организационную основу модернизации водохозяйственного комплекса Российской Федерации. Экономическая оценка водных ресурсов призвана учитывать доступные объемы, спрос и фактическую нагрузку, качество воды и другие факторы.

Россия является одним из богатейших государств мира по запасам пресных поверхностных и подземных вод, суммарный объем которых составляет около 50 тыс. км³, или 20 % мировых запасов. Ежегодно в экономике используется около 65,7 км³ свежей воды из водных объектов, а остальной объем – за счет систем оборотного водоснабжения и повторного использования вод (таблица 1).

Таблица 1 – Использование водных ресурсов в народном хозяйстве Российской Федерации, млрд м³/год

Забор воды из природных водных объектов 65 632,2					
Пресная вода 61 663,5				Морская вода	
из подземных источников 10 657,5		из поверхностных источников 67 167		3 344,9	
Суммарный расход свежей воды 66 756					
на производственные нужды 25510,7	на хозяйственно- питьевые нужды 7357,2		на орошение и с/х водоснабжение 6199,0	на прочие нужды 3 860	
Суммарные безвозвратные потери 6 834					
Водоотведение (кроме транзитного сброса)					
в поверхностные водные объекты 36 169,3				в накопи- тели	в подзем- ные гори- зонты
нормативно-чистых	Загрязненных 11325,8		нормативно очищенных		
21627,2	Без очистки 2150,2	Недостаточно- очищенных 15 354	3216,4	1500	145

Примечание – Рассчитано по данным [1–3].

При наличии значительных объемов водных ресурсов в Российской Федерации существует неравномерное их распределение по территории, а поверхностные воды значительно изменяются во времени. При этом негативное следствие неравномерности распределения водных ресурсов обуславливается не столько разными показателями удельной водообеспеченности в расчете на единицу площади, сколько их расхождением с плотностью населения и распределения производственных сил по территории. На одного жителя России в среднем приходится около 27,3 тыс. м³ воды в год, при этом, если в Дальневосточном регионе – 297 тыс. м³, то на европейской части России – менее 3 тыс. м³/чел. в год. Это ниже, чем удельная водообеспеченность на 1 жителя в европейских странах (4,9 тыс. м³) и значительно ниже среднего мирового показателя (12,6 тыс. м³). Стабильное обеспечение населения и в первую очередь, всех экономических агентов необходимыми ресурсами, является конечной целью управления водопользованием.

Сопоставив средние многолетние значения поверхностных водных ресурсов с площадью субъектов Российской Федерации, можно ранжировать территорию России по естественной водообеспеченности (км³ / год речного стока на 1 км² территории региона), без учета подземных вод и перераспределения стока. Выполненный расчет удельной водообеспеченности субъектов Российской Федерации за счет поверхностных водных ресурсов показал, что эта величина изменяется от 0,01 до 6,5 км³ / год с 1 км². На основе экспертной оценки можно выделить определенные градации удельной водообеспеченности регионов в зависимости от удельного показателя:

- 1) критическая;
- 2) низкая;
- 3) недостаточная;
- 4) удовлетворительная;
- 5) достаточная;
- 6) высокая;
- 7) очень высокая.

Удельная водообеспеченность определяет теоретическую возможность подачи водных ресурсов, и чем она ниже – тем выше стоимость ресурса, что означает рост необходимости государственной поддержки. Составлена карта, где цветом показана ситуация с осредненным поверхностным стоком.

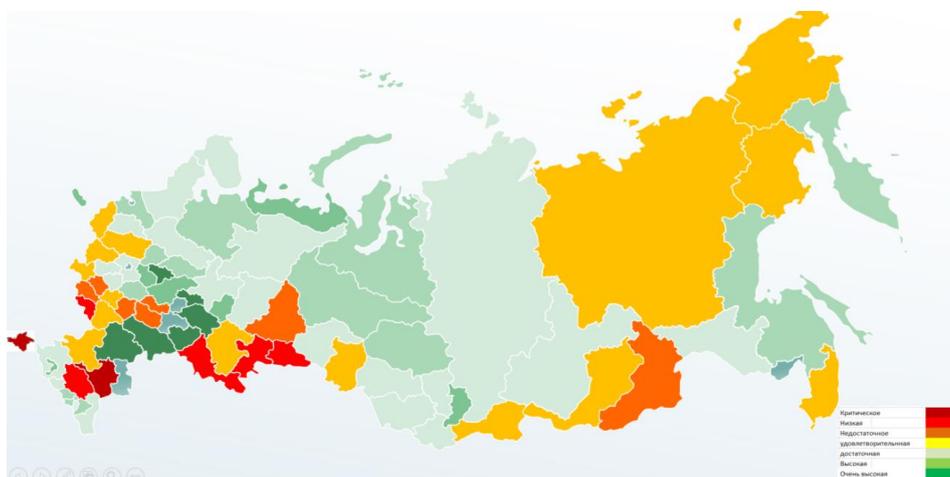


Рисунок 1 – Удельная обеспеченность поверхностными водными ресурсами субъектов Российской Федерации

Из-за неравномерности распределения прежде всего, речного стока, в некоторых регионах проблема водообеспечения стоит очень остро, существует дефицит водных ресурсов. Это относится к югу европейской территории России, где сконцентрирован огромный промышленный и сельскохозяйственный потенциал страны, значительная часть населения, и на этот регион приходится только около 8 % общего годового стока рек. Наименее водообеспеченными регионами страны являются Калмыкия и Крым. Незначительные объемы речного стока определяют дефицит водных ресурсов, который выступает лимитирующим фактором развития субъектов Российской Федерации. Низкая водообеспеченность поверхностными водными ресурсами на юге страны осложняет условия судоходства в меженный период, а также рыборазведения и орошения земель. Проведенный в 2023 году во ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова анализ антропогенной нагрузки на водные объекты за счет их использования с изъятием, показал, что, например, в Калмыкии водные ресурсы исчерпаны (потребление превышает 74 %), в Ставропольском крае – близки к исчерпанию (потребление 54 %) [4]. Исчерпание ресурса не должно означать ограничение хозяйственной деятельности, а лишь свидетельствует о необходимости государственного вмешательства [5], направленного на сокращения непроизводительных потерь и перераспределение стока из регионов с высокой и очень высокой водообеспеченности с использованием современных технологий водообеспечения.

В связи с упомянутыми выше общепланетарными климатическими изменениями чаще возникают периоды сниженного относительно нормы речного стока, увеличивается их продолжительность в многолетнем разрезе. В современных научных трудах встречается термин «водный стресс», который, в соответствии со Всемирной программой оценки воды (WWAP), определяется [8] как недостаток водных ресурсов надлежащего качества для обеспечения потребностей населения и окружающей среды. Оценка уровня водного стресса определяется как отношение водозабора из водных источников к доступным возобновляемым водным ресурсам. По сути этот показатель близок к принятой у нас оценке антропогенной нагрузки на водные объекты. Так, если это отношение меньше 10 %, то водный стресс отсутствует, при показателе от 10 % до 20 % фиксируется слабый недостаток воды, от 20 % до 40 % – умеренная нехватка, а при отношении более 40 % говорится о водном стрессе (высокий уровень нехватки воды).

Однако с учетом региональных природно-хозяйственных условий, в некоторых регионах используют, помимо поверхностных, и подземные водные ресурсы. Например, в Омской области, которая относится к градации «умеренная водообеспеченность» за счет речного стока в народном хозяйстве интенсивно используются подземные воды (забирается около 90 % из разведанных утвержденных запасов подземных вод). При этом в среднем по стране используется не более 15 % от утвержденных запасов подземных вод [3].

В разрезе видов экономической деятельности наибольшие объемы использования воды для производственных нужд отмечаются для категории «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», в первую очередь, для гидроэнергетики [1]. Другими основными пользователями водных ресурсов выступают промышленность, сельское и жилищно-коммунальное хозяйство, водный транспорт.

При использовании поверхностных вод для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения серьезной проблемой является ухудшение их качества. Основные причины – использование устаревших технологий и сброс недостаточно очищенных стоков в водные объекты. Практически все поверхностные, а в настоящее время и часть подземных водных объектов (особенно в европейской части страны в районах размещения крупных промышленных и сельскохозяйственных комплексов), значительно загрязнены. Эффективное управление водохозяйственным комплексом должно обеспечивать очистку водных источников как за счет государственных, так и за счет внебюджетных источников.

Состояние гидротехнических сооружений водохозяйственного комплекса, обеспечивающих использование водных ресурсов, сохранение водного фонда и защиту от вредного воздействия вод, во многих случаях является неудовлетворительным. Затопление, вызванное паводком и прорывом дамб, в том числе, крупных населенных пунктов в Оренбургской и Тюменской областях весной 2024 года – одно из подтверждений критической ситуации. По данным [6] средний процент износа крупных ГТС составляет 56 %, средних – 34 %, физический износ значительной части мелиоративных систем достигает 80 %. Ситуация усугубляется многообразием форм собственности и ведомственной принадлежности гидротехнических сооружений, большим количеством бесхозных объектов. Для полноценного удовлетворения потребностей населения и отраслей экономики в воде требуемого качества необходима реконструкция значительной части гидротехнических сооружений водохозяйственного комплекса России. Основная обязанность по финансированию мероприятий по ремонту, реконструкции и модернизации гидротехнических сооружений должна быть возложена на государство, что оправдано требованиями обеспечения продовольственной безопасности страны.

Для водопользования в России характерна значительная доля безвозвратного водопотребления. Большие потери отмечаются в промышленности, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве. Сложившаяся структура производства в отраслях промышленности определяет высокий уровень потребления воды в расчете на один рубль ВВП. При этом использование воды в России уменьшается.

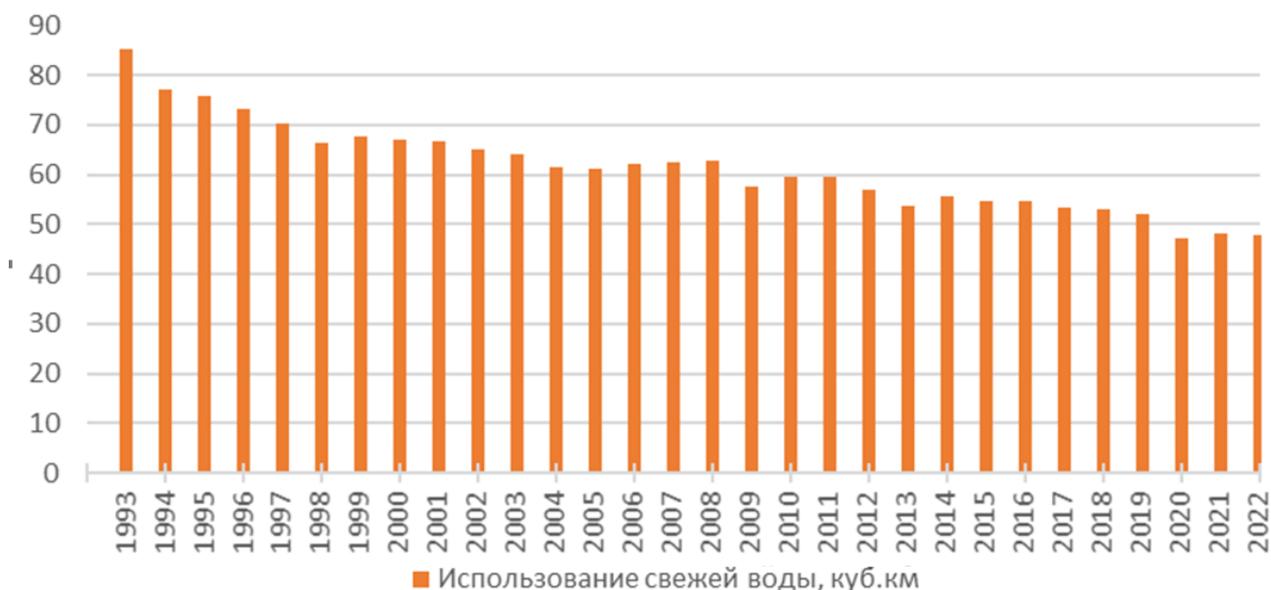


Рисунок 2 – Использование воды в Российской Федерации (по данным Росводресурсов)

Динамика использования водных ресурсов на единицу ВВП косвенно характеризует эффективность управления водохозяйственным комплексом. Удельная водоемкость экономики России сокращается. В соответствии с [3] она составила 0,74 куб. м/тыс. руб. Удельная водоемкость ВВП – показатель эффективности по стране в целом, который высчитывается по формуле (1) как отношение общего объема водозабора к валовому внутреннему продукту.

$$УВ = V_{\text{забор}} / \text{ВВП} , \quad (1)$$

где УВ – удельная водоемкость ВВП; $V_{\text{забор}}$ – общий объем водозабора, км³; ВВП – валовый внутренний продукт, рублей.

Для оценки эффективности водохозяйственной деятельности важна динамика показателя удельной водоемкости в многолетнем разрезе. Однако колебания мировых цен на углеводороды вносит искажение в этот показатель, определяя его флуктуации, не отражающие реальные хозяйственные изменения.

При сравнении структуры бюджетов России и Беларуси глобальным отличием будет доля нефтегазовых доходов (в Российской Федерации – до последнего времени в структуре ВВП занимало нефтегазовая сфера, однако сейчас доля сокращается). И если с точки зрения наполнения бюджета, наличие богатых природных ресурсов, безусловно, играет важнейшую роль в вопросе баланса бюджета Российской Федерации, то, с точки зрения оценки эффективности тех или иных бюджетных инструментов, высокая зависимость от углеводородов порождает дисбаланс.

Нефтегазодобывающий сектор потребляет воду в технологических целях, во вспомогательных процессах и для бытовых нужд в незначительных относительно объемов добычи объемах. С применением заводнения сегодня добывается более 86% нефти. При этом в пласты закачивается примерно 1 млрд м³ воды в год, в том числе 700 - 750 млн м³ пресной. При этом почти 700 млн.т пластовых вод откачивается вместе с нефтью. Таким образом на 1 тонну добытой нефти требуется всего от 2 до 15 м³ воды (в зависимости от системы заводнения). Водоемкость переработки нефти, нефтехимии еще меньше (в расчете на единицу прибавочного продукта). Таким образом, использование воды при наиболее водоемких сегментах нефтегазовой сферы остается незначительным в сравнении с другими отраслями народного хозяйства, использование воды в нефтегазовой сфере незначительно.

В связи с высокой долей нефтегазовых доходов в структуре ВВП России, представляется целесообразным при оценке динамики удельной водоемкости экономики дополнительно рассматривать лишь «не нефтегазовую» часть ВВП России. Волатильность цен на сырьевых рынка искажает оценку использования водных ресурсов в народном хозяйстве. В связи с этим, в целях мониторинга динамики водоемкости экономики, предлагается рассматривать «не нефтегазовый» валовый внутренний продукт Российской Федерации, который представляет собой разницу между совокупным объемом ВВП и валовой добавленной стоимостью, созданной в нефтегазовом секторе. Тогда формула удельной водоемкости ВВП страны принимает вид

$$УВ_{\text{очищен}} = V_{\text{забор}} / ВВП_{\text{нефтегаз}} \quad (1A)$$

где $УВ_{\text{очищен}}$ – очищенная удельная водоемкость ВВП страны; $V_{\text{забор}}$ – общий объем водозабора страны, км³; $ВВП_{\text{нефтегаз}}$ – валовый внутренний продукт страны без учета нефтегазовой сферы, руб.

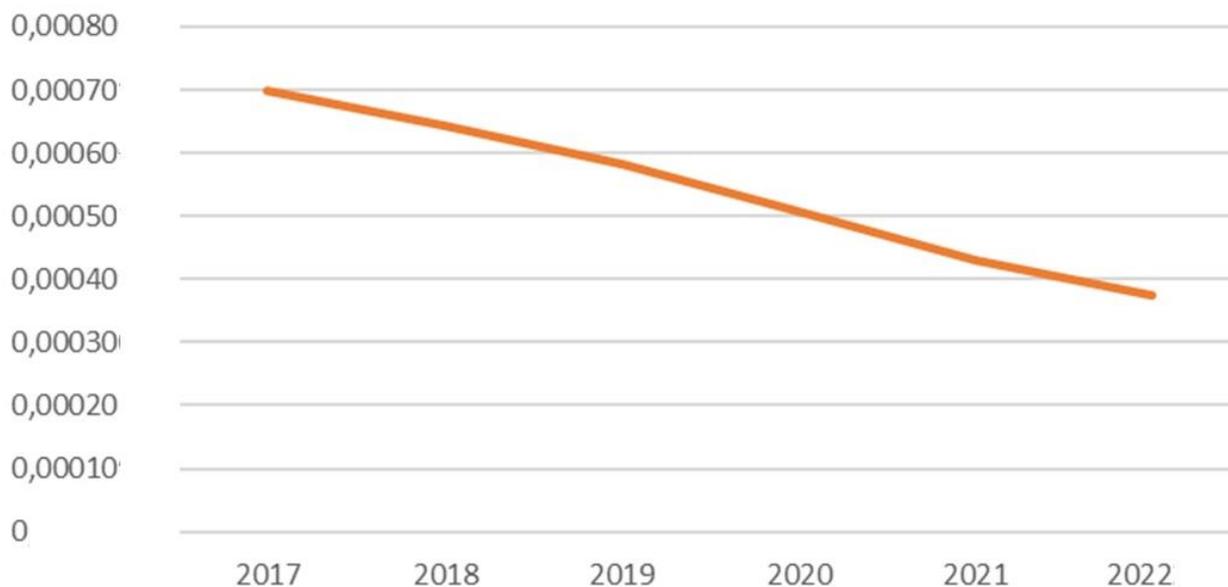


Рисунок 3 – Динамика удельной водоемкости экономики Российской Федерации (не нефтегазовый ВВП)

Использования предложенного показателя, как видно из рисунка 3, более наглядно демонстрирует снижение водоемкости в реальном секторе экономики.

Анализ мирового опыта показывает, что платность водопользования является одним из основных экономических инструментов государственного управления водохозяйственной деятельностью и необходимым условием ее эффективности. Согласно Дублинским принципам 1992 года, вода во всех формах ее использования имеет экономическую ценность и должна признаваться экономическим благом [7].

Определение ставок платы за водопользование должно проводиться с учетом экономической оценки водных ресурсов, которая зависит от наличия доступных водных ресурсов, спроса и фактической нагрузки на водные объекты и других факторов. Система платежей не должна являться сдерживающим фактором общеэкономического роста и сбалансированного развития отраслей экономики, региональных и локальных комплексов производства и расселения, а водные ресурсы должны быть общедоступны.

Опыт ведущих мировых стран свидетельствует, что затраты в водном хозяйстве, в том числе, капитальные затраты на водохозяйственное строительство, могут практически полностью финансироваться за счет водопользователей, за исключением водообеспечения низкорентабельной хозяйственной деятельности, связанным с орошаемым земледелием, обеспечением доставки воды сельскому населению.

Список цитированных источников

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году // Минприроды. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyu_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoj_federatsii_v_2022 (дата обращения: 13.02.2024).
2. Несмелов, Н. М. Удельная водоемкость ВВП. Итоги водной стратегии российской федерации на период до 2020 года / Н. М. Несмелов // Геогр. среда и живые системы, 2022. – № 3.
3. Доклад о реализации отраслевого документа стратегического планирования – Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, утв. распор. Правительства Росс. Федер., 27 авг. 2009 г. № 1235-р. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/doklady_o_realizatsii_otraslevykh_dokumentov_strategicheskogo_planirovaniya/doklad_o_realizatsii_otraslevogo_dokumenta_strategicheskogo_planirovaniya_vodnoy_strategii_rossiysko/?special_version=N&ysclid=ltpnz8tpyo298014771 (дата обращения: 13.02.2024).
4. Шевченко, В. А. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации / В. А. Шевченко, С. Д. Исаева, Э. Б. Дедова // Вестник РАН, 2023. – Т. 93. – № 4. – С. 355–361.
5. Шевчук, А. В. Платежи предприятий за пользование поверхностными водными объектами в условиях рыночной экономики / А. В. Шевчук, С. П. Анисимов, А. И. Артеменков ; под ред. А. В. Шевчука. – М. : Белый ветер, 2021. – 469 с.
6. Ольгаренко, Г. В. Концепция государственной программы «Восстановление и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2020–2030 годов» / Г. В. Ольгаренко, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай // Мин-во сельского хоз-ва Росс. Федерации : Департамент мелиорации : Всеросс. научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» : Росс. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Новочеркасск : РосНИИПМ, 2019. – 127 с.
7. Бик, И. ван Планирование и управление водохозяйственными системами : введ. в методы, модели и прил. : [пер. с англ.] / И. ван Бик, П. Лаукс ; под ред. М. В. Селиверстовой ; Федер. агентство вод. ресурсов. – М. : Юстицинформ, 2009. – 659 с.
8. Всемирный доклад ООН о состоянии водных ресурсов / коллект. авт. Всемирная программа ЮНЕСКО по оценке водных ресурсов // Цифровая библиотека UNESDOC. – ЮНЕСКО. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_rus (дата обращения: 29.07.2024).

References

1. Gosudarstvennyj Doklad O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2022 godu.
2. Nesmelov, N. M. Udel'naja vodojmkost' VVP. Itogi vodnoj strategii rossijskoj federacii na period do 2020 goda.
3. Doklad o realizacii otraslevogo dokumenta strategicheskogo planirovaniya - Vodnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda, utverzhdennoj rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 27.08.2009 № 1235-r (data publikacii 03.06.2021) – Rezhim dostupa: https://www.mnr.gov.ru/docs/doklady_o_realizatsii_otraslevykh_dokumentov_strategicheskogo_planirovaniya/doklad_o_realizatsii_otraslevogo_dokumenta_strategicheskogo_planirovaniya_vodnoy_strategii_rossiysko/?special_version=N&ysclid=ltpnz8tpyo298014771 data obrashhenija: 13.02.2024).
4. Shevchenko, V. A. Novyj jetap razvitija meliorativno-vodohozjajstvennogo kompleksa rossijskoj federacii / V. A. Shevchenko, S. D. Isaeva, Je. B. Dedova // Vestnik RAN, 2023, T. 93, № 4. – S. 355-361.
5. Platezhi predpriyatij za pol'zovanie poverhnostnymi vodnymi ob#ektami v uslovijah rynochnoj jekonomiki / Shevchuk A. V., Anisimov S. P., Artemenkov A. I. ; pod redakciej A. V. Shevchuka. – Moskva : Belyj veter, 2021. - 469 s.
6. Ol'garenko, G. V. Konceptija gosudarstvennoj programmy «Vosstanovlenie i razvitie meliorativnogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period 2020-2030 godov» / G. V. Ol'garenko, S. M. Vasil'ev, G. T. Balakaj // Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii, Departament melioracii, Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut sistem oroshenija i sel'hozvodosnabzhenija «Raduga» (FGBNU VNII «Raduga»), Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie «Rossijskij nauchno-

issledovatel'skij institut problem melioracii» (FGBNU «RosNIIPM»). - Novocherkassk : RosNIIPM, 2019. – 127 s.

7. Bik, I. van. Planirovanie i upravlenie vodohozhajstvennymi sistemami: vvedenie v metody, modeli i prilozhenija / I. van Bik, P. Lauks ; pod red. M. V. Seliverstovoj ; [per. s angl.: A. E. Asarin i dr.] ; Federal'noe agentstvo vodnyh resursov. – Moskva : Justicinform, 2009. – 659 s.

8. Vsemirnyj doklad Organizacii Ob#edinennyh Nacij o sostojanii vodnyh resursov [V Internete] / avt. Vsemirnaja programma JuNESKO po ocenke vodnyh resursov // Cifrovaja biblioteka UNESDOC. JuNESKO, 2017 g. 29.07.2024 g. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_rus.

УДК 697.1

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

*Ю. В. Каперейко, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
e-mail: yulya.kapereyko@mail.ru*

Реферат

В данной статье представлены результаты изучения современных методов регулирования систем теплоснабжения гражданских зданий и энергосберегающих мероприятий. Приведен пример совмещения некоторых методов регулирования в единую систему. Рассмотрен вариант предполагаемой ресурсосберегающей системы водяного отопления с комплексным учетом параметров микроклимата, теплоэнергетических показателей и климатических факторов. Показаны положительные и отрицательные стороны использования того или иного способа регулирования системами отопления зданий. Предлагается вариант использования нейронных сетей для реализации энергоэффективного подхода при эксплуатации систем отопления жилых и общественных зданий и для поддержания в них более точных параметров микроклимата помещений.

Ключевые слова: энергосбережение, регулирование теплопотребления, потребление энергии, энергоэффективность.

MODERN METHODS OF REGULATING HEAT SUPPLY SYSTEMS OF CIVIL BUILDINGS AND ENERGY-SAVING MEASURES

Y. V. Kapereyko

Abstract

The article presents the results of studying modern methods of regulating heat supply systems for civil buildings and energy-saving measures. A variant of combining some control methods into a single system is given. The positive and negative sides of using one or another method of regulation by building heating systems are shown. A variant of the proposed resource-saving water heating system with integrated consideration of microclimate parameters, thermal energy indicators and climatic factors is considered.

Keywords: energy saving, regulation of heat consumption, energy consumption, energy efficiency.

Введение

В последние годы значительное внимание уделяется вопросам минимизации потребления тепловой энергии в зданиях различного назначения, в том числе и жилых.

Для стран западного мира экономия энергии стала актуальной, начиная с первого энергетического кризиса в 1968 году. Для стран бывшего СССР этот процесс начался с его развалом. Республика Беларусь – лидер среди бывших республик СССР в процессе снижения энергоемкости ВВП.

На данный момент в Республике Беларусь на эксплуатацию зданий расходуется около 40 % потребляемой тепловой энергии. Поэтому экономия энергии при эксплуатации зданий является важной составляющей резерва снижения энергоемкости ВВП.

Идея экономии энергии при эксплуатации зданий очень популярна во всем мире. Уже построены здания с нулевым потреблением энергии (Null-Energie) и даже с положительным балансом энергии (Plus-Energie), энергетические системы которых без использования ископаемых видов топлива производят больше энергии, чем потребляют. Однако экономическое обоснование строительства таких зданий, как правило, отсутствует.

В последние годы вопросам изучения эффективного энергопотребления зданий уделяется большое внимание исследователями России (Г. А. Штофер, И. А. Башмаков, Л. Б. Директор) и Беларуси (Л. Н. Данилевский, В. М. Пилипенко и др.).

Основная часть

На сегодняшний день в Республике Беларусь существует 3 экспериментальных энергоэффективных жилых многоэтажных здания, относящиеся к классу энергоэффективности А+. В данных проектах использовались различные энергоэффективные технологии с применением альтернативных источников энергии (геотермальная энергетика, гелиоэнергетика, рекуперация удаляемого воздуха и использование тепла сточных вод).

В трудах Л. Н. Данилевского [1] выделены основные мероприятия, проводимые для реализации энергосбережения: управляемая система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов; система отопления с горизонтальной разводкой; системы регулирования режимов отопления и воздухообмена с возможностью климат-контроля в каждой квартире здания; системы индивидуального (поквартирного) учета потребляемой на отопление тепловой энергии; индивидуальные системы учета потребления холодной и горячей воды; система диспетчеризации данных по учету и регулированию потребления энергоресурсов в квартирах.

Эти инструменты позволили сократить потребление тепловой энергии практически на 30 %.

Современные системы отопления предполагают возможность устанавливать режимы тепловыделений в помещения, что способствует адаптации под метеорологическую ситуацию за пределами помещения. Существует возможность управления системой на календарной или временной основе, что приводит к

минимизации общих затрат. С момента внедрения автоматизированных систем управления, работа теплогенераторов выполняется в рамках тонкого баланса между критериями экономичности и комфорта в зависимости от предпочтений теплопотребителя.

В работах А. А. Февралева [2] рассматриваются методы адаптационного управления параметрами микроклимата помещений, в основе которых лежат нечеткие логические связи, алгоритмизация которых производится на нейросетевом уровне. Подчеркивается необходимость предварительного учета влияния теплопотребителей на изменение параметров микроклимата с целью интенсификации адаптационных моделей.

Развитие теплогенерирующих электротехнологий предполагает совершенствование алгоритмов их управления. В современных условиях основным регулятором параметров теплоносителя в пределах теплогенератора является температура наружного воздуха, эффективной учет которой предопределяет общее повышение эффективности работы системы отопления, подготовки горячей воды для нужд водоснабжения.

В пределах отопительного сезона колебания температуры наружного воздуха играют весомую роль в области эффективного теплопотребления. Однако стоит учесть, что помимо температуры наружного воздуха, существует другое множество факторов, которые влияют на микроклимат помещений. К внешним факторам относятся: скорость и направление ветра; увлажнение поверхностей ограждающих конструкции из-за осадков разного агрегатного состояния; облачность и интенсивность прямой и рассеянной радиации; барометрическое давление; влажность воздуха. К внутренним факторам можно отнести условия протекания технологического процесса внутри здания: теплопоступления от людей, теплопоступления от солнечной радиации, теплопоступления от бытовых приборов, теплопоступления от электроосвещения, теплопотери при эксфильтрации внутреннего воздуха, теплопотери при осуществлении вентилирования помещения.

Многие из этих факторов являются непостоянными и появление того или иного значения параметров обусловлено большим числом факторов и носит случайный характер. Поэтому для обобщения метеорологических и иных элементов или параметров используются положения теории вероятностей и методы математической статистики. Однако некоторые из вышеперечисленных факторов можно использовать в расчетах для отражения более точной к реальности картины теплообменных процессов ограждающих конструкций. С помощью детальных вычислений можно сформулировать зависимости для поддержания комфортных параметров микроклимата в помещениях зданий, учитывая все факторы воздействия на тепловые потери, тем самым обеспечить наиболее точную оценку эффективности применяемых методов регулирования систем водяного отопления.

Для учета всех положительных факторов и исключения отрицательных предлагается вариант ресурсосберегающей системы водяного отопления с комплексным учетом параметров микроклимата, теплоэнергетических показателей и климатических факторов. Ее работа основывается на обработке прогнозных метеорологических данных для нивелирования тепловой инерционности здания

и элементов системы отопления, а так же параметров текущего режима эксплуатации ограждающих конструкций в контексте их теплотехнических характеристик с учетом действия наружных и внутренних факторов влияния.

Исследования по влиянию метеорологических воздействий представлены в работе [3]. В работе [4] рассмотрена возможность создания системы водяного отопления с метеопрогностическим регулированием.

Основными достоинствами, присущими данному методу регулирования системами теплоснабжения, являются.

1. Регулирование в зависимости от внешних и внутренних возмущений теплового баланса здания, что позволит поддерживать наиболее комфортные условия внутри помещения.

2. Данный способ позволит регулировать потребление тепловой энергии в зависимости от нужд потребителя в конкретный период времени, что позволит экономить энергоресурсы.

Недостатками данного способа регулирования являются.

1. Необходимость в предопределении теплового режима работы конкретного помещения заранее.

2. Необходимость установки дополнительных элементов и привязка их к общему компьютеру для последующего управления.

3. Наблюдение случаев повышения потребления тепловой энергии в связи с учетом климатических факторов (таких как ветровое воздействие и атмосферные осадки) в сравнении со стандартной системой отопления, которая не учитывает эти факторы влияния и не повышает нагрузку на систему с их появлением.

Тем не менее, данный способ регулирования может быть применен в системах поддержания микроклимата, где отклонение на большие величины от заданной температуры нежелательно.

Для осуществления предиктивного регулирования системой отопления необходимо установить связь между тепловой инерционностью системы отопления и тепловой инерционностью конкретного здания. Так же разрабатывается схема регулирования оборудованием, в частности двухходовой клапан одноконтурного газового котла, установленный на газоподающем трубопроводе, необходимо включить в систему управления контроллера для осуществления экономичного расхода топливно-энергетических ресурсов. При этом регулировать можно как температуру теплоносителя, не меняя расхода воды, так и расход воды, оставляя неизменной температуру теплоносителя. И в том, и в другом случае наблюдается экономия расхода энергоресурсов.

Применение разработок интеллектуальных систем управления [5] может решить проблему выявления сложновычисляемых зависимостей между вышеперечисленными факторами влияния и адаптировать конкретные условия работы системы отопления под индивидуальные объекты эксплуатации этих систем.

Для оценки эффективности такой системы регулирования, возможно, провести лишь приближенные вычисления на основании ранее проведенных исследований. Используя упрощенные формулы расчетов можно определить такие параметры как запаздывание элементов системы отопления, степень и время нагрева отопительных приборов до определенных значений их теплоотдачи. Ввиду существования двух суточных этапов: ночного, где наблюдается период стремления к суточному температурному минимуму; и дневного, где наблюдается

период стремления к суточному температурному максимуму, то и интенсивность краткосрочных колебаний оценивается исходя из температурных значений межпикового периода. Таким образом, с ростом меры отклонения крайних температурных точек увеличивается эффективность метеопрогностического управления системой отопления.

Согласно материалам, изложенным в литературе по теплообмену, нестационарность течения теплообменных процессов вполне возможно описать некоторыми зависимостями, которые применимы для таких расчетов. Однако ввиду невозможности тестирования разработок на реальных объектах, условно можно принять на этапе моделирования процессов на основании известных из практики реальных значений при эксплуатации систем водяного отопления приблизительное время изменения всех теплотехнических параметров регулируемой системы τ . В данный интервал времени необходимо предоставлять прогнозные данные о погодных условиях с метеостанции.

Определив время запаздывания системы отопления со стандартной погодозависимой автоматикой, и считая, что в концепции метеопрогностического регулирования это время сглажено, то при идеальных условиях полностью компенсируются тепловые потери в текущий момент времени.

Так как в способе регулирования необходимо использовать определенное оборудование для осуществления предиктивного управления системой водяного отопления, то в выбранный отрезок времени так же должны входить гистерезис элементов системы отопления и оборудования для регулирования параметров теплоносителя, поступающего в отопительные приборы.

Эмпирические закономерности, выявленные в ходе исследования для конкретного здания, могут служить основой для дальнейших исследований и моделирования. На основе этих закономерностей можно разрабатывать более точные математические модели, которые учитывают влияние метеорологических факторов на работу системы отопления. Это в свою очередь может способствовать созданию более эффективных алгоритмов управления системой и предсказанию оптимальных режимов работы в различных климатических сценариях.

В связи со сложностью выделения четких и точных закономерностей, необходимых для прогнозирования погоды, использование нейронных сетей [5] позволяет многократно упростить этот процесс. Процесс обучения позволяет извлечь сложные закономерности, что и будет основой для получения выходных данных.

Гибкость нейронных сетей позволяет так же вариативно изменять параметры, что скажется на общей эффективности системы. Немало важной особенностью нейронной сети является возможность ее дообучения. При необходимости, используя уже полученные модели и применение к ней актуальных данных, позволит адаптировать ее к текущим условиям.

Заключение

Учет различных климатических факторов является реальной возможностью для поддержания необходимых параметров микроклимата помещений. Учет теплоэнергетических показателей здания позволит отслеживать потребление энергии в корреляционной зависимости от метеофакторов. Развитие нейронных сетей и внедрение их в инженерные системы энергоснабжения зданий являются одним из решений для реализации основных решений в энергоэффективном ключе.

Список цитированных источников

1. Данилевский, Л. Н., Пилипенко В. М., Терехов С. В. Предварительные результаты мониторинга энергоэффективных зданий в Беларуси / Л. Н. Данилевский, В. М. Пилипенко, С. В. Терехов // Журнал С.О.К., 2018. – № 9. – С. 70–79.
2. Февралев, А. А. Нейросетевые алгоритмы для решения задачи краткосрочного локального прогнозирования температуры наружного воздуха / А. А. Февралев, Ю. С. Приходько, Д. М. Бабайлова. – Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура, 2017. – № 3. – С. 48–53.
3. Каперейко, Ю. В. Метеопрогностическое регулирование в системах водяного отопления / Ю. В. Каперейко, А. О. Заречный, В. Г. Новосельцев – Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2 (134). – С. 6–11.
4. Каперейко, Ю. В. Возможности создания системы водяного отопления с метеопрогностическим регулированием / Ю. В. Каперейко : сб. тр. V междунар. науч.-техн. конф. 23–25 апр. 2024 г., Владимир, Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, 2024. – С. 60–66.
5. Головкин, В. А. Нейроинтеллект: теория и применение. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / В. А. Головкин. – Брест : БПИ, 1999. – Кн. 1 – 264 с.

References

1. Danilevskij L. N., Pilipenko V. M., Terehov S. V. Predvaritel'nye rezul'taty monitoringa jenergojeffektivnyh zdaniy v Belarusi // Zhurnal S.O.K., 2018. № 9. – S. 70–79.
2. Fevrlev, A. A. Nejrosetevye algoritmy dlja reshenija zadachi kratkosrochnogo lokal'nogo prognozirovanija temperatury naruzhnogo vozduha / A. A. Fevrlev, Ju. S. Prihod'ko, D. M. Babajlova. – Vestnik JuUrGU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura, 2017. – № 3. – S. 48-53.
3. Kaperejko, Ju. V. Meteoprognosticheskoe regulirovanie v sistemah vodjanogo otoplenija / Ju. V. Kaperejko, A. O.Zarechnyj, V. G.Novosel'cev – Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2024. – № 2 (134). – S. 6–11.
4. Kaperejko, Ju. V. Vozmozhnosti sozdaniya sistemy vodjanogo otoplenija s meteoprognosticheskim regulirovaniem / International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering (MPCPE-2024): sb. tr. V mezhdunar. nauch.-tehn. konf. 23 – 25 apr. 2024 g., Vladimir, Vladim. gos. un-t im. A. G. i N. G. Stoletovyh. – Vladimir : Arkaim, 2024. – S. 60-66.
5. Golovko, V. A. Nejrointellekt: teorija i primenenie. Kniga 1: Organizacija i obuchenie nejronnyh setej s prjamym i obratnymi svjazjami. –Brest Izd. BPI, 1999 – 264 s.

УДК 379.85

ПОТЕНЦИАЛ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ БЫХОВСКОГО РАЙОНА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВИДОВ ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННОГО ТУРИЗМА

К. А. Макар, специалист по обеспечению учебного процесса кафедры физической географии мира и образовательных технологий, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: kristina.mazurina.02@mail.ru

А. Е. Яротав, к. г. н., доцент, председатель Белорусского географического общества, Минск, Беларусь, e-mail: yarotau@gmail.com

Реферат

Рассматривается потенциал природных ландшафтов Быховского района Могилевской области Республики Беларусь, в целях развития природоориентированных видов туризма, таких как экологический, агротуризм, лечебно-оздоровительный, активный, охотничий и образовательный.

Исследование основано на анализе данных о физико-географических особенностях района, его ландшафтном строении и природных ресурсах, включая памятники природы и заказники. Для создания цифровой карты ландшафтов района применяются геоинформационные технологии.

В статье рассматриваются ресурсы водно-болотных угодий и лесов, которые могут способствовать развитию экотуризма, а также описываются существующие туристические маршруты и возможности для создания новых. Подчеркивается необходимость улучшения инфраструктуры и сотрудничества с местными агроэкоусадьбами для привлечения туристов. Также акцентируется внимание на восстановлении лечебно-оздоровительного туризма и образовательного, что может повысить интерес к экологии и культурному наследию региона.

Описываются возможности для развития различных туристических направлений. Предлагаются меры для повышения привлекательности района как туристического направления.

Ключевые слова: Быховский район, природоориентированный туризм, природный ландшафт.

POTENTIAL OF NATURAL LANDSCAPES OF BYKHOV DISTRICT FOR DEVELOPMENT OF TYPES OF NATURE-ORIENTED TOURISM

K. A. Makar, A. E. Yarotau

Abstract

The potential of the natural landscapes of the Bykhovsky district of the Mogilev region of the Republic of Belarus is considered for the purpose of developing nature-oriented types of tourism, such as ecological, agroecotourism, health and wellness, active, hunting and educational.

The study is based on the analysis of data on the physical and geographical features of the district, its landscape structure and natural resources, including natural monuments and reserves. Geoinformation technologies are used to create a digital map of the district landscapes.

The article considers the resources of wetlands and forests that can contribute to the development of ecotourism, and describes existing tourist routes and opportunities for creating new ones. The need to improve infrastructure and cooperate with local agroeco-estates to attract tourists is emphasized. Attention is also focused on the restoration of health and wellness tourism and educational tourism, which can increase interest in the ecology and cultural heritage of the region.

The possibilities for the development of various tourist destinations are described. Measures are proposed to increase the attractiveness of the area as a tourist destination.

Keywords: Bykhov district, nature-oriented tourism, natural landscape.

Введение

Согласно постановлению Министерства спорта и туризма Республики Беларусь от 7 августа 2023 г. № 36 «О ведении Единой классификации видов туризма в Республике Беларусь», в нашей стране насчитывается 13 видов туризма.

Из этого перечня к природоориентированному туризму можно отнести следующие виды туризма: агроэкотуризм, активный, лечебно-оздоровительный, образовательный, охотничий и экологический.

Быховский район расположен в южной части Могилевской области Республики Беларусь, является крупнейшим по площади (2263,16 км²) районом области. Граничит с Могилевским, Чаусским, Славгородским, Кировским, Кличевским районами Могилевской и Рогачевским – Гомельской области.

Юго-западная часть Быховского района в физико-географическом отношении относится к району Центральнорезинской равнины Предполесской провинции (округ Восточное Предполесье). Северо-восточная часть относится к Восточно-Белорусской провинции (Поднепровье). В большей степени район расположен преимущественно в районе Оршано-Могилевской равнины, и только крайний восток относится к району Костюковичской равнины.

Материалами для исследования послужила собранная авторами информация о природно-ресурсном потенциале района.

Для анализа ландшафтных условий была использована растровая ландшафтная карта Беларуси в масштабе 1:500 000 [1].

С помощью такого ГИС-ресурса, как ArcGIS, была создана цифровая карта ландшафтного строения и природного потенциала Быховского района.

Для исследования были применены такие методы как контентанализ, сравнительно-географический, картографический, методы ландшафтного анализа и геоинформационных технологий.

Результаты исследования потенциала природных ландшафтов Быховского района

Физико-географические природные особенности района нашли отражение и в его ландшафтном строении, где, в большей степени, получили широкое распространение средневысотные и низменные ландшафты (рисунок 1).

Так, по ландшафтному районирования страны, юго-западная часть территории относится к Среднеберезинскому волнистому водно-ледниковому и вторичноморенному району, крайний юг лежит в пределах Бобруйско-Рогачевского волнистого моренно-зандрового и водно-ледникового района, данные районы входят в Предполесскую ландшафтную провинцию. Северо-восточная часть относится к Восточно-Белорусской ландшафтной провинции, большая часть относится к Проня-Днепровскому волнистому вторичноморенному району, небольшая часть к Климовичскому волнистому вторичноморенному и волнисто-увалистому моренно-зандровому району, который лежит южнее вышеописанного района.

Природный потенциал ландшафтов состоит из ресурсов водно-болотных угодий, лесов, водных, геоморфологических и геологических объектов, представляющих интерес для природоориентированных видов туризма.

Ландшафты с предполагаемым потенциалом для развития: экологического туризма – аллювиальные террасированные, озерно-болотные, пойменные, речных долин; агроэкотуризма: – пойменные, речных долин; лечебно-оздоровительного – водно-ледниковые с озерами; активного туризма – холмисто-моренно-эрозионные, вторичноморенные; охотничьего туризма – водно-ледниковые, озерно-болотные.

Экологический туризм в районе может получить развитие на базе республиканского ландшафтного заказника «Старица».

В пределах заказника можно наблюдать чередование различных геоморфологических форм – от стариц до плоских вершин террас, что обуславливает разнообразие растительности на его территории. Наиболее ярко выражены элементы выработанной речной долины – крутые и пологие склоны, фрагменты террас, эоловые холмы и гряды, старичные озера, меандры [3].

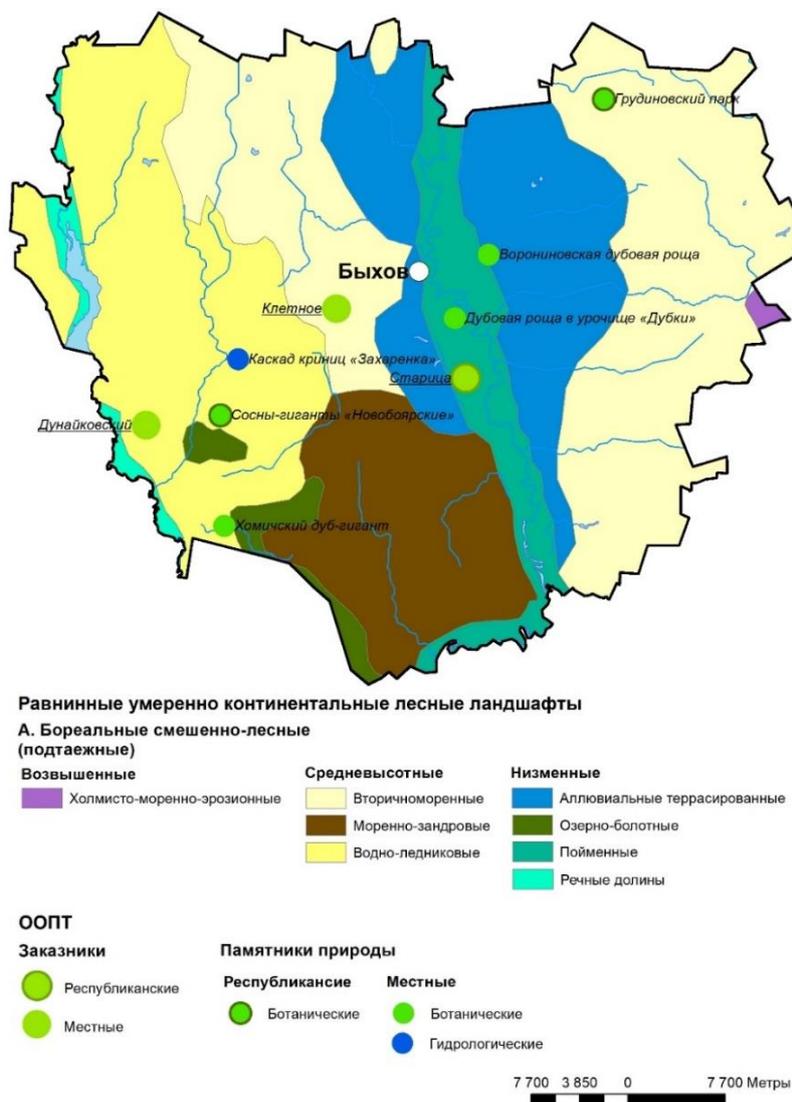


Рисунок 1 – Ландшафтное строение и природный потенциал Быховского района

Входящие в состав заказника земли представляют собой естественные экосистемы с высокой степенью сохранности. В пределах заказника обитает краснокнижный коростель и выявлено 4 места произрастания двух видов дикорастущих растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь (водяной орех плавающий и сальвиния плавающая) [3].

К заказникам местного значения относятся заказники «Дунайковский» и «Клетное».

Помимо этого, на территории района расположено 6 памятников природы, которые также могут представлять интерес для туризма.

К таким памятникам природы относятся:

– ботанические республиканские – Грудиновский парк, сосны-гиганты «Новобоярские»;

– ботанические местного значения – Ворониновская дубовая роща, дубовая роща в урочище «Дубки», Хомичский дуб-гигант;

– гидрологические местного значения – каскад криниц «Захаренка».

Грудиновский парк расположен в границах усадьбы графов Толстых XIX века. Представляет собой заложенный в первой половине XIX ст. парк пейзажного типа с регулярной партерной частью перед дворцом. Особый интерес с точки зрения сохранения ботанического разнообразия представляют деревья-экзоты, старовозрастные насаждения туи, липы крымской, дуба, ясеня [3].

Памятник природы сосны-гиганты «Новобоярские» представлен пятнадцатью деревьями биологического вида сосна обыкновенная. Возраст деревьев 150–160 лет, высота 27–30 м, диаметр ствола 0,65–0,85 м, диаметр кроны 3–5 м. На территории памятника природы находятся, сохранившиеся со времен Великой Отечественной войны постройки и землянки партизанского соединения [3].

Большой интерес представляет каскад криниц «Захаренка». Источник представляет собой выход воды из земных недр в трех уровнях, образующих небольшой ручей, стекающий в неглубоководную реку Вьюнок (бассейн реки Днепр). Источник окружен со всех сторон лесом [3].

Надо отметить, что кроме данного источника, если верить сайту «Родники Беларуси» [4], в районе насчитывается еще как минимум 23 источника, но они не включены в Список особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь. Однако, обследовав их, можно подумать над тем, чтобы присоединить их к туристическим маршрутам.

Для населения родник является культовым объектом, возле которого построена часовня. В местах отдыха установлены беседка и декоративные скамейки. Над одним из выходов подземных вод сооружена купальня. При подходе к родниковому комплексу установлены декоративные ворота и информационные стенды.

Продолжением экологического туризма можно назвать агроэкотуризм, который представлен 27 агроэкоусадьбами (таблица 1). Помимо агроэкоусадоб, агроэкотуризм можно развивать и в пределах тех туристических комплексов, которые пока не являются агроэкоусадьбами, но соответствуют всем требованиям, чтобы стать ими. Как пример можно привести загородный комплекс «Чигиринка», который расположен в д. Коровчено (53.545952, 29.827466).

Таблица 1 – Агроэкоусадьбы Быховского района

№ п/п	Наименование	Адрес расположения	Единовременная вместимость (кол-во чел)
1	«Чигиринская протока»	д. Проточное, ул. Центральная, 44	11
2	«Палаюнічы прытулак»	д. Проточное, ул. Центральная, 40	10
3	«Рыбацкий двор»	д. Чечевичи, 1-я ул. Набережная, 45	14
4	«Благодать»	д. Чечевичи, ул. 1-я Набережная, 10	8
5	«Рыбацкая пульва»	д. Чечевичи, ул. Набережная, 77	12
6	«Домик в лесу»	д. Чечевичи, ул. Туристическая, 9	12
7	«Чигиринское предместье»	д. Чечевичи, ул. Набережная, 65А	15

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Наименование	Адрес расположения	Единовременная вместимость (кол-во чел)
8	«Галеон»	д. Чечевичи, ул. Набережная, 102	8
9	«Песчаный берег»	д. Грудичино, 9 (с 16.02.2021)	16
10	«Чигиринские вечера»	д. Грудичино, 2	7
11	«Чигиринское раздолье»	д. Грудичино, 15	9
12	«Озерная 13»	д. Грудичино, 13	11
13	«Крутой берег»	д. Грудичино, ул. Озерная, 1Д	8
14	«У Палыча»	п. Грудичино, ул. Озерная, 25	5
15	«Сиваки»	п. Грудичино, ул. Озерная, 23	6
16	«Буслик»	д. Воронино, ул. Придорожная, 40	2
17	«Ешки-матрешки»	д. Воронино, ул. Придорожная, 5	9
18	«Елки-палки»	д. Воронино, ул. Придорожная, 9	16
19	«Сытый папа»	д. Воронино, ул. Придорожная, 60	5
20	«Гостинный двор»	д. Залохвенье, ул. Центральная, 27	15
21	«Сядзіба Дудзіка»	д. Залохвенье, ул. Центральная, 29	15
22	«Луговые грезы»	аг. Борколабово, пер. Луговой, 8	8
23	«У Надежды на Полевой»	г. Быхов, ул. Полевая, 5	8
24	«У Печкина»	г. Быхов, пер. Солодышева, 13	6
25	«Быховский дворик»	г. Быхов, ул. Шмидта, 8	6
26	«Быховчанка»	г. Быхов, ул. Полевая, 1 Б	3
27	«Новая волна»	д. Короткие, ул. Новая, 5	10

Лечебно-оздоровительный туризм в районе пока развит слабо, что подтверждается отсутствием лечебно-оздоровительных учреждений санаторного профиля, причиной чего могла стать авария на ЧАЭС, в ходе которой территория района также подверглась радиоактивному загрязнению.

Активный туризм в районе может на данный момент представлен водным и велосипедным туризмом.

Так, ЧУП «ЧигиринкаТУР», расположенное в д. Чечевичи, пока единственное предприятие, которое организует сплавы на байдарках по р. Друть.

Кроме этого, в районе имеется любительский лов рыбы, который в большей степени развит на Чигиринском водохранилище и старичных озерах р. Днепр.

Ландшафтные условия района способствуют организации велотуризма почти по всему району, за исключением озерно-болотных ландшафтов и заболоченных пойм рек. В районе на данный момент имеется один подобный туристический маршрут – велосипедный маршрут «Быховская кругосветка».

Охотничий туризм также относится видам туризма, ориентированным на природные ресурсы.

Угодья охотничьих хозяйств на территории района закреплены за ГЛХУ «Быховский лесхоз» и шестью охотдами Быховской районной организационной структуры РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов».

Охотничьи угодья, арендуемые ГЛХУ «Быховский лесхоз», расположены в юго-западной части района. Территория охотничьего хозяйства ГЛХУ «Быховский лесхоз» состоит из двух изолированных участков: основного (1–4 обходы) и Приборско-Краснослободского участка (5 обход) [2].

Центры развития охотничьего туризма могут быть сформированы на базе охотничьих или туристических комплексов. К ним относится охотничий

комплекс «Дом охотника» в д. Гамарня ГЛХУ «Быховский лесхоз» и Быховская РОС РГОО БООР.

Образовательный туризм природоведческой направленности требует наличия соответствующих тематических экспозиций. Данное направление может быть развито путем организации тематических экспозиций, народных промыслов на базе туристических комплексов, школьных музеев, агроэкоусадеб.

Заключение

Быховский район демонстрирует значительный потенциал для развития природоориентированного туризма. Уникальные природные ресурсы, такие как водно-болотные угодья, леса и ландшафтные заказники, создают условия для успешной реализации различных туристических направлений, включая агроэкотуризм, экологический, активный и охотничий туризм.

Перспективы развития туризма в районе заключаются в активном продвижении существующих маршрутов, создании новых туристических продуктов и улучшении инфраструктуры. Важно развивать сотрудничество с местными агроэкоусадебными и туристическими предприятиями с целью создания комплексных предложений для туристов.

Кроме того, стоит обратить внимание на необходимость восстановления лечебно-оздоровительного туризма, что может привлечь дополнительные потоки посетителей. Создание образовательных программ и тематических экспозиций также будет способствовать укреплению интереса к экологии и культурному наследию района.

Таким образом, с учетом устойчивого и интегративного подхода к развитию туризма, Быховский район имеет все шансы не только стать привлекательным направлением для туристов, но и способствовать экономическому росту и сохранению природных ресурсов региона.

Список цитированных источников

1: 500 000. – 1. Республика Беларусь [Карты] : [ландшафтная карта] / сост. И подгот. К печати РУП «Белкартография», 1: 500 000. Минск : Белкартография, 2014.

2. ГЛХУ «Быховский лесхоз» : [сайт]. – Быхов. – URL: <https://ihunt.by/catalog/orginfo/32> (дата обращения: 07.09.2024).

3. Карта особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь // Мин-во прир. ресурсов и охраны окруж. среды – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/svg_map-ru/list (дата обращения: 06.09.2024).

4. Родники Беларуси / карта родников Беларуси. – URL: <https://rodnikbel.by/#%D0%9C%D0%9E-%D0%91%D0%AB%D0%A5>. – (дата обращения: 15.09.2024).

References

1. Respublika Belarus'. Landshaftnaja karta [Karty]. – 1: 500 000. – Mn.: RUP «Bel-kartografija», 2014.

2. GLHU «Byhovskij leshoz» [Jelektronnyj resurs]. – iHunt.by. – Rezhim dostupa: <https://ihunt.by/catalog/orginfo/32>. – Data dostupa: 07.09.2024.

3. Karta osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Respubliki Belarus' [Jelektronnyj resurs]. – minpriroda.gov.by. – Rezhim dostupa: https://minpriroda.gov.by/ru/svg_map-ru/list. – Data dostupa: 06.09.2024.

4. Rodniki Belarusi [Jelektronnyj resurs]. – rodnikbel.by. – Rezhim dostupa: <https://rodnikbel.by/#%D0%9C%D0%9E-%D0%91%D0%AB%D0%A5>. – Data dostupa: 15.09.2024.

ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ И ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «МАРЫАЗОТ»

Т. Т. Мамедова, ст. преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан

С. Р. Батыров ст. преподаватель, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан

Реферат

В научной работе исследуется возможность очистки и повторного использования сточных вод, сбрасываемых производственным объединением «Марыазот». Для этого в лаборатории анализировали показатели качества условно чистой воды и сравнивали определяемые показатели качества воды с предельно допустимыми нормами. Температуры и качественные показатели сточных вод и избыточной воды производственных процессов определялись в четырех местах в зависимости от производственной площади используемой на заводе воды. В ходе исследований изучено влияние коагулянтов и флокулянтов на качество очистки сточных вод ПО «Марыазот». Из наиболее характерных в окрестностях предприятия было отобрано несколько проб сточных вод и смешанных с ними сточных вод, проанализировано и сопоставлено с помощью мультиметра.

Ключевые слова: вода, отходы, реагент, показатели качества, температура, дренаж, сельское хозяйство, производство, реагент, коагулянт, кислород, токсичные вещества, процесс, соленость, водородный показатель, минеральность, электропроводность.

POSSIBILITIES FOR TREATMENT AND REUSE OF WASTEWATER FROM THE «MARYAZOT» PRODUCTION ASSOCIATION

T. T. Mamedova, S. R. Batyrov

Abstract

The scientific work explores the possibility of treating and reusing wastewater discharged by the «Maryazot» production association. To do this, the laboratory analyzed the quality indicators of conditionally pure water and compared the determined water quality indicators with the maximum permissible standards. Temperatures and quality indicators of wastewater and excess water from production processes were determined at four locations depending on the production area of the water used in the plant. During the research, the influence of coagulants and flocculants on the quality of wastewater treatment at the «Maryazot» production association was studied. Several samples of wastewater and wastewater mixed with it were taken from the most characteristic points in the vicinity of the enterprise, analyzed and compared using a multimeter.

Keywords: water, waste, reagent, quality indicators, temperature, drainage, agriculture, production, reagent, coagulant, oxygen, toxic substances, process, salinity, pH value, minerality, electrical conductivity.

Введение

В период Возрождения новой эпохи стабильного государства проводятся исследования, эксперименты и эксперименты по химической науке как одному из основных направлений быстро развивающихся и меняющихся наук. В стране созданы все условия для комплексного расширения технологических разработок. Примером тому является «Государственная программа комплексного развития химической науки и технологий в Туркменистане на 2021–2025 годы», утвержденная 16 октября 2020 года. Данная программа направлена на модернизацию химической промышленности, дальнейшее ускорение социально-экономического развития страны, дальнейшее повышение роли химической науки и технологий в развитии нашей экономики на основе передовых технологий, инноваций и научных достижений. Ускоренным темпом внедряются результаты научных исследований в производство, чтобы сделать нашу страну передовой. Она была разработана в соответствии с задачами, поставленными Президентом Туркменистана в области устойчивого обеспечения ресурсами и создания водосберегающих технологий [1]. В данной работе планируются исследования по разработке улучшенных и адаптированных к местным условиям методов оценки воздействия промышленных сточных вод на окружающую среду.

Основная часть

Вода, используемая для технологических целей в промышленности, должна быть прозрачной, водородный показатель pH должен находиться в пределах 7,0–8,5, минеральный состав воды должен быть чистым, с соблюдением требований к жесткости количеству металлов в соответствии со стандартами. Предприятие получает воду для промышленных целей с 408-го километра реки Каракумы.

Вода реки Каракумы мутная, по химическому составу она также предназначена для промышленных целей, но не соответствует требованиям использования. Гидрохимические условия и ионный состав воды тесно связаны с природными условиями, а также с правилами использования рек. Химический состав воды меняется в течение года, а также, в течение многих лет в зависимости от состава воды в реке Амударье. На 408 км среднее многолетнее значение солёности воды реки Каракумы составляет около 750 мг/л. Вода реки относится к кальциевой группе гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридного комплекса.

Показатели качества воды указывают на необходимость ее подготовки для промышленного использования. Речная вода будет храниться в специально вырытом резервуаре, а затем поступать на водоочистные сооружения. Для очистки воды в специальных установках используются различные реагенты. В качестве реагентов используют жидкий хлор, активные соединения хлора, серебряную воду, гипохлорит натрия и органический хлорамин в соответствии с требованиями качества речной воды и качества чистой воды в разные годы. Использование реагентов является основным источником образования сточных вод.

В технологических процессах, реализуемых на предприятии, к показателям, которые должны быть проверены согласно проекту, относятся показатель

водорода, основные вещества, ацетальдегид, формальдегид, аммонийный азот, фосфаты, химический потребляемый кислород, биохимический потребляемый кислород, общее железо, хлориды и сульфаты.

В предприятии имеется четыре выхода в зависимости от площади используемой воды.

Два из них сбрасываются неочищенными в городскую канализационную систему как чистые воды, поскольку они образуются из отходов и избыточной воды промышленных процессов, от сбросов условно чистой воды и паровых котлов. Поскольку он образуется из избытка воды, он содержит одни жиры, а у других могут присутствовать азотистые соединения. Температура условно чистой воды на первом выходе летом составляла 35° С.

Существует значительная разница между цветностью воды в приемной канализации и условно чистой воды, поступающей в нее. Если предположить, что цветность воды является показателем качества сбрасываемой воды, то этот факт следует рассматривать как объект будущих этапов исследовательской работы.

Поскольку дренажную систему не чистили уже много лет, уровень грунтовых вод находится близко к поверхности, поэтому скорость и объем воды в приемнике низкие. Это не гарантирует быстрого снижения концентрации при добавлении сточных вод. Для подтверждения этого факта достаточно оценить растительный покров канавы. Возле выхода водостока растительность почти не зеленая, иногда виднеется часть зелени. Это означает, что дренаж необходимо очистить и углубить до водопропускных труб, предусмотренных проектом.

Технические характеристики водоприемника второго выхода аналогичны первому выходу. Похоже, что скорость и объем воды в этой точке не позволяют концентрациям быстро уравниваться.

Из третьего выхода вода, используемая в процессах экстракции, направляется на водоочистные сооружения. На водоочистных сооружениях сточные воды подвергаются биологической очистке. В сточных водах, обогащенных кислородом, микроорганизмы используют органические вещества в воде в качестве питательных веществ, а образующиеся отходы окисляются или перерабатываются. Биологическое окисление является основой всех процессов очистки.

Механизм биологической очистки сточных вод включает следующие процессы [2]:

- активное всасывание загрязняющих веществ из воды;
- окисление легко окисляемых органических веществ;
- окисление трудно окисляемых органических веществ на конечных стадиях нитрификации.

Процесс нитрификации является завершающим этапом минерализации азотистых органических соединений.

Биологически очищенная вода сбрасывается в окружающую среду в условиях водоотведения, согласно которому он сбрасывается в окружающую дренажную систему.

При попадании в водостоки воды, содержащей азотистые отходы, в них растут высшие растения, которые поглощают кислород из воды и улучшают условия жизни флоры и фауны. В частности, нитриты, при попадании в организм

живых организмов, окисляются и вызывают тяжелую кислородную недостаточность в организме.

Показатели качества воды проверяются несколько раз в день и в ночь в постоянной лаборатории вблизи очистных сооружений. Что касается физических параметров испытаний, учитывались жесткость воды, ее запах, цветность, а также значение рН, содержание минералов, количество растворенного в ней кислорода и температура используемой воды. В качестве основных загрязняющих веществ идентифицированы остатки аммиака, нитраты, нитриты, сульфаты и хлорид-ионы.

Сегодня это химическое вещество как комплексный индикатор по международным стандартам необходимо для определения потребления и биохимического потребления кислорода.

Из четвертого выпуска высококонцентрированные стоки, образующиеся при аварийных ситуациях или при мойке отдельных агрегатов, сбрасываются в пруд-испаритель, используемый для хранения.

После того, как концентрация снизилась до определенного уровня за счет испарения в пруду, известно, что через некоторое время вода из озера также поступает на очистные сооружения.

На основании краткого анализа характеристик сточных вод, образующихся в производственных процессах, сделан вывод о необходимости совершенствования методов их очистки. Для удовлетворения этой потребности необходимо будет наладить научные работы по модернизации технологий, используемых на водоподготовительных и водоочистительных объектах. Это основные проблемы научной работы.

Для совместной очистки всех сточных вод, образующихся на Марыйской ГЭС и производственном объединении «Марыазот», построены специальные водоочистные сооружения. Комплекс сооружений построен в 1983 году и способен очищать 1000 м воды 24 часа в сутки. В пункте приема сточных вод мелкие механические отходы накапливаются в порах и откачиваются с помощью фильтра. Поступившие сточные воды проходят через водомер к распределительным насосам. Осадки обрабатываются и осаждаются перед сбросом сточных вод в аэротенки. Илы выносят на иловые площадки. Очищенные сточные воды поступают в левый и правый аэротенки. Там с помощью специальных насосов сточные воды обогащаются кислородом и под воздействием света создаются условия для жизни микроорганизмов.

Микроорганизмы принимают в пищу органические отходы, окисляют их и очищают воду от них. Сточные воды из левого и правого аэротенков проверяются отдельно. Минерализующие организмы не переносят высоких концентраций остатков аммиака и погибают. Поэтому аммиак и другие азотистые отходы сбрасываются в высоких концентрациях в сточные воды. Воды вводятся в пруд-испаритель для омоложения. Площадь данного участка составляет 35000 м³.

Сточные воды готовят к зиме для создания искусственных мест обитания минерализующих организмов и нагреваются в специальных камерах.

Показатели качества воды, определенные на скважине, соответствуют предельно допустимым концентрациям (ПДК). Но эти показатели определяются только на входе, выходе и пруде-испарителе водоочистных сооружений. Показатели качества воды, считающейся условно чистой, в лаборатории не определяются и сведения о ее уровне не сохраняются.

Условные показатели качества чистой воды на перспективном этапе научных исследований расследование заслуживают внимания.

Показатели качества сточных вод, принимаемых в пруды, в промышленной лаборатории не определяются, и его выбросы не сравниваются с показателями качества воды.

Рядом с очистными сооружениями находится постоянно действующая лаборатория, которая измеряет параметры качества воды каждые три часа 24 часа в сутки. В лаборатории определяются следующие параметры качества воды.

1. Водородный показатель.
2. Количество кислорода, растворенного в воде.
3. Остаточный аммиак.
4. Сульфат-ионы.
5. Нитрат-ионы.
6. Нитрит-ионы.
7. Хлорид-ионы.
8. Взвешенные вещества.
9. Илы.
10. Температура воды.

В таблице 1 приведены образцы результатов лабораторных анализов.

Сточные воды ПО «Марыазот» содержат загрязняющие вещества органической и неорганической природы. Присадки, образующиеся в результате использования воды в промышленности и быту, свидетельствуют о комбинированном характере сточных вод.

Сложность химического состава сточных вод и масштабная очистка сточных вод, воздействие внешних факторов (температура и давление), чрезмерное удерживание загрязняющих веществ снижают популяцию активных бактерий. Для обеспечения биологической очистки сточных вод в условиях высокопроизводительной эксплуатации очистных сооружений внедрено несколько методов реагентной очистки. Реагентные методы очистки воды основаны на использовании коагулянтов, коагулянтов и флокулянтов [3, 4].

Таблица 1 – Образцы результатов лабораторных анализов

№	Показатели качества воды	Ед. изм.	По проекту ПДК		На входе	На левом выходе аэротенка	На правом выходе аэротенка	Испарительном водоеме
			на входе	на выходе				
1	Температура воды	°С	<30°С	<30°С	25	26	27	26,5
2	Водородный показатель		6,5–8,5	6,5–8,5	8,1	8,2	8,1	9,2
3	NH4	мг/л	<30,0	0,0–5,0	7,1	5,2	2,2	187,0
4	NO2	мг/л	0,00	0,0–0,5	0,0	0,38	0,13	3,63
5	NO3	мг/л	0,00	0,0–10	0,0	6,2	12,5	24,7
6	SO4	мг/л	<500	<500	459,0	338,0	355,0	486,5
7	Cl	мг/л	<350	<350	187,9	191,4	196,8	202,1
8	Взвешенные вещества	мг/л	<170	<170	10,0	2,0	4,0	–
9	Растворимый кислород	мг/л	6–8	6–8	6,85	6,32	6,93	–
10	Ил	%	–	–	–	2,0	2,5	–

В ходе научной работы ПО «Марыазот» изучено влияние коагулянтов и флокулянтов на качество очистки сточных вод. Химический состав воды, подаваемой на очистные сооружения, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав сточных вод и лимиты сбросов загрязняющих веществ

№	Показатели сточных вод	Входящие стоки, мг/л	Предел стандартного отклонения, мг/л (а)	Временные показатели сточных вод, мг/л (b)
1	Биологический показатель	204	20,0	19,92
2	Химический показатель	312	15,0	85,9
3	Взвешенные вещества	172	16,7	16,7
4	pH	8,0	6,5–8,0	8,0
5	Аммонийный азот	более 40	0,4–0,5	19,78
6	Нитраты	0,1-den azrak	0,02–0,027	3,90
7	Хлориды	214	66,5	66,5
8	Сульфаты	151	100	149
9	Фосфаты	6,6	0,2	0,55
10	Железо	1,5	0,1	0,79

В качестве коагулянтов в процессе очистки используются соли алюминия и железа, а также несколько типов флокулянтов. Их характеристики приведены в таблице 3 [5, 6].

Таблица 3 – Характеристика флокулянтов

T/b	Марка	η , см ³ /г	$M\eta \cdot 10^{-6}$	Количество ионогенных веществ, моль %	Активация
1	Ps 611 TR	920	–	9	Слабый катион
2	Ps 650	690	3,5	20	Средний катион
3	Ps 2515	1020	2,8	11	Слабый анион
4	Ps 2640	1350	2,7	28	Средний анион
5	Ps 2540 TR	1600	4,4	28	Средний анион
6	Ps 2530 TR	1800	4,6	20	Средний анион

Согласно анализу многих процессов коагуляции, использование коагулянтов не обеспечивает полной очистки коллоидных систем. Поэтому нельзя использовать разные типы флокулянтов. Коагулянты можно использовать в сочетании с флокулянтами для достижения высокого уровня очистки. Результат можно увидеть в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты очистки сточных вод реагентами

Названия загрязнителей	Источная вода, мг/л	Reagent arassalamanyň netijeleri				Нормы, мг/л
		Сульфат алюминия	Алюминий полиоксихлорид жидкий	Алюминий полиоксихлорид кристаллический	Алюминий полиоксихлорид жидкий + Ps 650	
Фосфаты	7,32	менее 0,1	0,154	0,124	менее 0,1	0,55 0,2
Общая железо	1,42	0,52	0,52	0,34	0,38	0,1
Сульфаты	136,8	101,2	35,9	25,9	31,6	100
Хлориды	214	88,6	312	167	310	66,5
Ионы аммония	более 40	33	30	31	30,5	0,4–0,5 19,78

В настоящее время при очистке воды широко применяются комбинированные методы очистки. С его помощью показатели качества воды можно довести до нормативных значений. Это, в свою очередь, можно увидеть в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты реагентных и комбинированных методов очистки сточных вод

Названия загрязнителей	Показатели	Реагентная очистка		Реагентная + биологическая очистка		Норма
		КФ1	КФ2	КФ1+ биологическая очистка	КФ2+ биологическая очистка	
Ион аммония, мг/л	1,41	33,6	23,1	20,7	5,2	9,9
Железо, мг/л	общая	1,02	1,86	–	–	0,35
Медь, мг/л	0,0147	менее 0,002	менее 0,002	–	–	0,03
Сульфат, мг/л	154,9	123,2	121,6	–	–	139,0
Хлорид, мг/л	125,0	108,0	118,0	–	–	66,5
Химические показатели, мг/л	321,0	152,0	145,6	–	–	85,9
Биологические показатели, мг/л	196,0	174,0	168,0	–	–	15,8

Реагентная обработка сточных вод приводит к получению широкого спектра химического состава воды и приводит к улучшению производительности [7]. В результате удается достичь показателей, близких к показателям качества питьевой воды во всем мире.

При сбросе сточных вод, образующихся на предприятии, в канализацию приемные стоки рассматриваются как воды, используемые для рыбохозяйственных целей. Согласно государственному стандарту Туркменистана, для добавления сточных вод в воду, используемую для рыболовных целей, предъявляются следующие требования:

1) количество растворенного кислорода в воде не должно быть менее 4 мг/л зимой и 6 мг/л летом до 12 часов дня;

2) биохимический потенциал кислорода при 20° С не должен превышать 3 мг/л в принимающей воде;

3) приземная концентрация токсичных веществ не должна превышать предельно допустимого уровня (ПДК);

4) температура водоприемника и поступающих в него стоков разница температур не должна превышать 30° С летом и 50° С зимой.

Следует учитывать, что с повышением температуры увеличивается чувствительность живых организмов сточных вод к токсичным веществам.

Для оценки соблюдения требований по очистке сточных вод используется новейшее оборудование.

Несколько проб сточных и смешанных сточных вод были взяты из наиболее характерных точек башен по «Марыазот» и проанализированы с помощью мультиметра. Результаты анализа приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты анализов сточных вод, взятых из различных точках

№	Пробы	Солесодержания, г/кг	Электропроводность	Минерализация, г/л	Водородный показатель рН	Растворенный кислород
1	Первая точка	1,9	3,96	2,13	8,4	4,2
2	выхода условно чистых сточных вод	2,0	4,09	2,21	8,6	4,8
	Средняя первая точка	1,95	4,025	2,17	8,5	4,5
3	Смешанная условно	2,2	4,45	2,39	8,3	4,4
4	чистая сточнаясода	2,9	5,85	3,16	8,1	4,5
	Средняя вторая точка	2,55	5,15	2,775	8,2	4,45
5	Смешанная вторая условно	2,4	5,04	2,73	8,2	4,6
6	чистая сточная сода	2,4	4,98	2,68	8,2	4,6
	Средняя третья точка	2,4	5,01	2,705	8,2	4,6
7	Вторая точка	1,6	3,32	1,82	8,5	4,1
8	выхода условно чистых сточных вод	1,7	3,70	1,99	8,4	4,3
	Средняя четвертая точка	1,65	3,51	1,905	8,45	4,2
9	Смешанная третья условно	4,9	9,30	5,11	8,1	5,1
10	чистая сточная сода	4,9	9,26	5,06	8,1	5,3
	Средняя пятая точка	4,9	9,28	5,085	8,1	5,2
11	Точка поступления	0,9	2,14	1,14	8,0	4,8
12	очищенных стоков на очистные сооружения	0,9	2,09	1,12	8,1	4,0
	Средняя шестая точка	0,9	2,115	1,13	8,05	4,7
13	Неочищенная	1,6	3,42	1,84	9,6	3,2
14	сточная вода	1,7	3,34	1,85	9,4	3,7
	Средняя седьмая точка	1,65	3,38	1,845	9,5	3,45
15	Точка выхода	0,8	1,84	0,99	8,2	6,8
16	из очистных сооружений	0,8	1,87	1,00	8,3	7,1
	Средняя восьмая точка	0,8	1,855	0,995	8,25	6,95
17	Условные чистые	4,6	8,90	4,86	8,1	5,2
18	выбросы и очищенные сточные воды	4,4	8,85	4,89	8,06	5,9
	Средняя девятая точка	4,5	8,875	4,875	8,08	5,55

Как показано в таблице, из каждой точки было отобрано по две пробы.

Сравнение показателей первого и второго пункта свидетельствует о том, что из-за отсутствия очистки канализации количество собираемых в ней сточных вод сравнительно невелико по сравнению с количеством чистых сточных вод, так как разница в минерализации подтверждает это.

При сравнении показателей пятого и девятого пунктов не удалось проанализировать ионный состав очищенных сточных вод, смешанных со сточными водами, поскольку минерализация сточных вод после добавления очищенных сточных вод были относительно ограничены.

В рамках данной научной работы удалось провести калибровку мультиметра при определении остатков аммиака в сточных водах, сбрасываемых в пруд-испаритель. В лаборатории предприятий из одной пробы, определенной стандартным методом, приготовили десять буферных растворов и определили электропроводность каждого из них. Математическим методом была установлена корреляция между электропроводностью и остатками аммония.

Согласно научным данным, существует линейная зависимость между самой низкой и самой высокой концентрацией. Однако научные данные доказывают, что большая часть диапазона линейная.

Выводы

Первым шагом в реализации данной научной работы является уменьшение количества вредных веществ в сточных водах наносящий ущерб окружающей среде.

Можно извлечь азот, калий, фосфор, кальций и другие элементы, являющиеся веществами, содержащимися в составе сточных вод, и получить ценные удобрения для сельскохозяйственных растений.

Время коагуляции можно увеличить до 20 минут за счет увеличения коагулянтной активности используемых соединений.

В результате очистки сточных вод «Марыазот» с помощью реагентов можно улучшить многочисленные качественные показатели химического состава воды.

Комбинированными методами (механическими, реагентными, биологическими) можно снизить количество аммонийного азота до нормы в воде.

При оценке воздействия сточных вод на окружающую среду можно оперативно определить минерализацию, водородный показатель, электропроводность, содержание растворенного кислорода и ионный состав воды.

Список цитированных источников

1. Государственная программа комплексного развития химической науки и технологии в Туркменистане на 2021–2025 годы : принята Уважаемым Президентом Туркменистана 16 окт. 2020 г. – URL: turkmenistan.gov.tm/ru/post/36679/utverzhdena-gosprogramma-kompleksnogo-razvitiya-khimicheskoi-nauki-i-tehnologii-na-2021-2025-gody (дата обращения: 27.09.2024).

2. Добрынин, А. Ф. Интенсификация водоочистки реагентным способом / А. А. Добрынин, Г. Г. Абдуллаязнова // Химическая промышленность. – 2009. – № 5. – С. 86

3. Добрынин, А. Ф. Способы удаления аммонийного азота из сточных вод сложного состава / А. А. Добрынин, Г. Г. Абдуллаязнова // Химическая промышленность. – 2009. – № 5. – С. 86

4. Родионов, А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов : учеб. пособие для студентов вузов // А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – М. : Химия, КолосС, 2005. – 392 с.

5. Хенце, М. Очистка сточных вод: пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. – М.: Мир, 2006. – 480 с.
6. Яковлев, С. В. Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов; под ред. С. В. Яковлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.
7. Гончарук В. В. Разработка эколого-гигиенической классификации качества поверхностных вод Украины – и сточников централизованного водоснабжения / В. В. Гончарук, В. Н. Жукинский, А. П. Чернявская, В. Ф. Скубченко // Химия и технология воды, 2003. – № 2. – С. 106–157.

References

1. «Gosudarstvennaja programma kompleksnogo razvitija himicheskoj nauki i tehnologii v Turkmenistane na 2021-2025 gody» prinjatoj Uvazhaemym Prezidentom Turkmenistana 16 oktjabrja 2020 goda.
2. Dobrynin A. F., Abdullazjanova G. G. Intensifikacija vodoочистки reagentnym sposobom. «Himicheskaja promyshlennost'», m. 86, № 5, 2009 g.
3. Dobrynin A. F., Abdullazjanova G. G. Sposoby udalenija ammonijnogo azota iz stochnyh vod slozhnogo sostava. «Himicheskaja promyshlennost'», m. 86, № 5, 2009 g.
4. Rodionov A. I., Kuznecov Ju. P., Solov'ev G. S. Zashhita biosfery ot promyshlennyh vybrosov.
5. Hence M. Oчистка stochnyh vod: Per. s angl./ Hence M., Armojes P., Lja-Kur-Jansen J., Arvan Je. – М.: Мир, 2006. – 480 s.
6. Oчистка proizvodstvennyh stochnyh vod: Ucheb. Posobie dlja vuzov / S. V. Jakovlev, Ja. A. Karelin, Ju. M. Laskov, Ju. V. Voronov; Pod red. S. V. Jakovleva. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Strojizdat, 1985. – 335 s.
7. Goncharug V. V., Zhukinskij V. N. Razrabotka jekologo-gigienicheskoj klasifikacii kachestva poverhnostnyh vod Ukrainy – i stochnikov centralizovannogo vodosnabzhenija. «Himija i tehnologija vody», 2008 g.

УДК 631

СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

О. П. Мешик, к. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: omeshik@mail.ru

М. В. Борушко, м. т. н., ст. преподаватель кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: borushko.marina@mail.ru

Ю. А. Мажайский, д. с-х. н., профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», Рязань, Россия, e-mail: director@mntc.pro

Р. В. Асаулов, ассистент кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: roma_valerievich_00@mail.ru

А. И. Кароза, к. арх., доцент, зам. декана по идеологической и воспитательной работе факультета инженерных систем и экологии, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: karoza_a@mail.ru

Реферат

В работе выполнено обобщение состояния современного сельскохозяйственного производства в Белорусском Полесье. Описан почвенный покров исследуемой территории, отражены особенности сельскохозяйственного освоения

почв, уровень их плодородия. Обозначен комплекс мероприятий для сохранения и повышения плодородия. Отражена структура земельного фонда и сельскохозяйственного производства. Приведены сведения об урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: Полесье, сельское хозяйство, почвы, плодородие, удобрения, земельный фонд, сельскохозяйственное производство, структура

TODAY'S STRUCTURE OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN BELARUSIAN POLESIE

O. P. Meshyk, M. V. Barushka, Y. A. Mazhayskiy, R. V. Asaulau, A. I. Karoza

Abstract

The paper summarizes the current state of agricultural production in the Belarusian Polesie. It describes the soil cover of the area, reflects the features of agricultural development of soils, their fertility. A set of measures for maintaining and increasing fertility is designated. The paper provides data about the structure of the land fund and agricultural production including information on the yield of the main agricultural crops.

Keywords: Polesie, agriculture, soils, fertility, fertilizers, land fund, agricultural production, structure

Введение

Общая площадь земель Белорусского Полесья примерно, 7 300 тыс. га, что составляет около 30 % всей площади земель Республики Беларусь. Из них сельскохозяйственных земель – 2 600 тыс. га, включая 1 700 тыс. га пахотных земель, 800 тыс. га луговых земель (из них 600 тыс. га – улучшенных луговых земель), более 25 тыс. га земель под постоянными культурами. Также леса занимают 3 300 тыс. га, земли под древесно-кустарниковой растительностью – 250 тыс. га, земли под болотами – 370 тыс. га [1].

Рельеф Белорусского Полесья равнинный, с системой плоских, переходящих друг в друга террас, примыкающих к озерам. Это наиболее теплая почвенная провинция Беларуси, вегетационный период длится 195–210 дней, сумма осадков составляет 500–550 мм, среднегодовая температура +7,3° С. Почвенный покров сложен и многообразен из-за пестроты строения почвообразующих пород и крайней изменчивости степени увлажнения [2].

Основная часть

Многочисленные исследования, связанные с оптимизацией структуры сельскохозяйственного производства, показали, что среди важнейших факторов, способствующих повышению эффективности аграрного производства, является оптимизация специализации и отраслевой структуры предприятий с точки зрения рационального использования природно-климатических условий и экономических параметров в конкретных производственных обстоятельствах. Пестрота почвенного покрова и разнообразие почвенных условий являются определяющими факторами размещения и состава сельскохозяйственных культур, возделываемых на предприятиях агропромышленного комплекса [3]. В этой связи исследования, связанные с глубоким изучением почвенных условий,

свойств почв, почвообразовательных процессов в контексте их влияния на продуктивность культурных растений, имеют особую актуальность.

Почвообразовательные процессы в Белорусском Полесье, как и на территории Беларуси в целом, отражают четыре основных генетических типа: дерново-подзолистый, болотный, дерново-карбонатный и аллювиально-луговой (пойменный). Здесь представлены генетические типы почв, развивающиеся преимущественно на водно-ледниковых и древнеаллювиальных песках и рыхлых супесях, а также торфах. В западной части Полесья почвы преимущественно развиваются на мелкозернистых озерно-аллювиальных и древнеаллювиальных песках, местами включающих прослойки алевролита разной мощности и на разной глубине [4].

Ведущим процессом в болотах является торфонакопление, связанное с концентрацией органического углерода. Для Белорусского Полесья характерно наиболее широкое распространение маломощных торфяно-болотных почв низинного типа, развивающихся на флювиогляциальных, озерных и озерно-аллювиальных песчаных и супесчано-песчаных отложениях.

Природные условия Полесья обуславливают широкое распространение переувлажненных минеральных почв. В их ряду ведущее положение занимают дерновые заболоченные почвы, площадь которых в Полесье составляет около 1000 тыс. га. Они являются результатом взаимодействия дернового и болотного почвообразовательных процессов и формируются на слабодренированных равнинах и пониженных элементах рельефа (часто окаймляют широкими полосами заторфованные массивы больших древнеозерных котловин или приурочены к их бывшим мелководным участкам) при близком от поверхности залегании грунтовых вод в основном под луговой травянистой растительностью [4].

В Белорусском Полесье карбонатные варианты дерновых заболоченных почв представлены между Давид-Городком и Туровом (правобережье Припяти). В геоморфологическом отношении участки с такими почвами представляют собой вторую террасу Припяти с абсолютными отметками около 128 м. Названные почвы приурочены к положительным элементам рельефа. Почвообразующие породы – крупнопылеватые, лессовидные тяжелые супеси и суглинки мощностью 0,7–1,5 м; ниже залегают пески. На контакте с песками часто наблюдается прослойка мергелистой супеси мощностью до 20 см [4].

Пойменные почвы в бассейне Припяти развиваются преимущественно на древнеаллювиальных песках при регулярном паводковом затоплении. В зависимости от положения в пойме различают три типа таких почв. Пойменные дерновые распространены, как правило, на гривах прирусловой поймы и развиваются в условиях отрыва от грунтовых вод; имеют маломощный гумусовый горизонт. Пойменные луговые почвы приурочены к центральной части поймы и формируются под влиянием как атмосферного, так и грунтового увлажнения. Гумусовый горизонт хорошо развит и часто имеет зернистую структуру, ниже он сменяется оглеенным горизонтом. Пойменные болотные почвы занимают отрицательные элементы рельефа центральной поймы и ее притеррасной части и характеризуются избыточным грунтовым увлажнением. В профиле таких почв в типичных случаях представлены торфяной или перегнойно-торфяной горизонты и подстилающий их глеевый горизонт [4]. Пойменные почвы

Припятского Полесья, вышедшие из аллювиального режима, развиваются на рыхлом супесчаном и песчаном аллювии. Именно эти почвы под названием «перегнойно-карбонатные суглинистые» отнесены в Беларуси к эталонным по плодородию и оцениваются баллом 100, составляя основу бонитировочной шкалы [5].

Важнейшим показателем качества сельскохозяйственных земель является их ценность в соответствии с баллом бонитета. Впервые бонитировка почв сельхозугодий на территории Беларуси и ее областей была проведена в 1964–1969 гг. Однако в связи с изменением уровня плодородия почв в результате известкования, внесения органических и минеральных удобрений, проведением осушительных мелиораций и культуртехнических работ качественное состояние земельных угодий со временем изменяется и нуждается в периодической оценке. Поэтому в 1974–1976 гг. был проведен второй тур бонитировочных работ, а в 1984–1985 гг. – третий [6].

Исходя из совокупности природных и антропогенных факторов, выделяют естественное (природное), искусственное, потенциальное и экономическое плодородие [7]. Естественное (природное) плодородие зависит от природных факторов (количества органического вещества, влажности, структуры почвенного покрова). Искусственное плодородие создается и поддерживается усилиями человека (внесение удобрений, гидромелиорация). Потенциальное плодородие определяется как способность почвы при благоприятных условиях обеспечивать растения всеми необходимыми элементами и поддерживать высокий уровень экономического плодородия, который учитывается, в первую очередь, через урожайность сельскохозяйственных культур, а также через другие стоимостные оценочные показатели (чистый доход, валовой продукт, цена земли и т. д.). Уровень экономического или эффективного плодородия учитывает экономическую оценку земли и бонитировку почв.

Естественное плодородие сельхозугодий в Брестской области – одно из самых низких в республике. Отмечается разнокачественность пахотных земель в баллах для Брестской области в целом: для сельхозугодий – 35 и пашни – 42. При этом наибольший балл среди районов области составляет 47, наименьший – 37. Разница в 10 баллов, по хозяйствам, соответственно – 71: 23 и 48 баллов. Распределение пахотных земель Брестской области (740,9 тыс. га) по классам бонитета представлено в таблице 1 [8].

Таблица 1 – Распределение пахотных земель Брестской области по бонитету

Бонитет, балл	<26	26...30	31...40	41...50	51...60	61...65	>65
Площадь, тыс. га	3,6	26,1	279,7	347,6	74,8	7,6	1,5
Площадь, %	0,5	3,5	37,7	46,9	10,1	1,1	0,2

Естественное плодородие сельхозугодий в Гомельской области среднее по республике. Отмечается разнокачественность пахотных земель в баллах для Гомельской области в целом: для сельхозугодий – 36 и пашни – 44. При этом наибольший балл среди районов области составляет 51, наименьший – 34; разница в 17 баллов, по хозяйствам, соответственно – 77; 12 и 65 баллов. Распределение пахотных земель Гомельской области (872,4 тыс. га) по классам бонитета представлено в таблице 2 [8].

Таблица 2 – Распределение пахотных земель Гомельской области по бонитету

Бонитет, балл	<26	26...30	31...40	41...50	51...60	61...65	>65
Площадь, тыс. га	5,3	33,2	261,0	360,2	198,5	10,0	4,2
Площадь, %	0,6	3,8	29,9	41,3	22,7	1,2	0,5

В таблице 3 приведены данные о бонитировке почв сельскохозяйственных земель в разрезе административных районов.

Почвы территории Республики Беларусь значительно беднее, чем у стран-соседей (Россия, Украина, Польша) и их плодородие только на 1/4, определяется как естественное [9], остальная часть достигается за счет внедрения и использования научных агротехнологий (сбалансированное внесение минеральных и органических удобрений, мелиорация и др.).

Для обеспечения планируемой урожайности основных сельскохозяйственных культур требуется внесение минеральных и органических удобрений. Дозы минеральных и органических удобрений под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур на супесчаных и песчаных почвах Белорусского Полесья приведены в таблице 4.

Дозы минеральных удобрений под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур на торфяно-болотных почвах Белорусского Полесья приведены в таблице 5.

Под сельскохозяйственные культуры, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища, в защищенный грунт ежегодно вносится в среднем 17000–19000 тыс. тонн органических удобрений и 270–350 тыс. т минеральных удобрений в пересчете на 100 % питательных веществ.

Для повышения плодородия почв исследуемой территории предлагается комплекс мероприятий по [10]: оптимизации кислотности почв;

- повышению запасов органического вещества;
- эффективному применению минеральных удобрений;
- применению микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Практика показывает, что площади кислых почв сельскохозяйственных земель, подлежащих известкованию, составляют (тыс. га): Брестская область – 96,5, Гомельская область – 99,2. При этом потребность в известковых мелиорантах (CaCO_3), в разрезе областей – 463,2 и 466,2 тыс. т в год, соответственно. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах пахотных земель требуется ежегодное внесение органических удобрений по областям – 15,5 и 18,3 т/га, соответственно. Из органических удобрений наиболее высокий эффект оказывают подстилочный навоз, подстилочный птичий помет и торфо-навозные компосты. Годовая потребность в минеральных удобрениях составляет (тыс. т д. в.): Брестская область – N (111,1), P (50,7), K (121,1); Гомельская область – N (109,5), P (64,7), K (167,7). Технологическая годовая потребность земледелия в микроудобрениях для некорневых подкормок сельскохозяйственных культур приведена в таблице 6 [10].

Таблица 3 – Бонитировка почв сельскохозяйственных угодий по районам

Район	Сельскохозяйственные угодья	В том числе		
		пашни	многолетние насаждения	кормовые угодья
Брестская область				
Барановичский	34	36	32	30
Березовский	35	37	31	32
Брестский	32	33	33	30
Ганцевичский	32	33	28	31
Дрогичинский	33	34	30	33
Жабинковский	35	35	27	35
Ивановский	34	34	30	34
Ивацевичский	35	36	38	33
Каменецкий	35	35	33	33
Кобринский	33	35	32	30
Лунинецкий	31	32	23	31
Ляховичский	36	38	38	32
Малоритский	29	29	24	28
Пинский	32	35	28	30
Пружанский	34	34	30	33
Столинский	33	38	34	30
Итого по области:	33	35	32	31
Гомельская область				
Брагинский	37	38	36	37
Буда-Кошелевский	36	36	34	34
Ветковский	30	34	35	25
Гомельский	33	36	42	30
Добрушский	34	38	37	29
Ельский	31	32	34	30
Житковичский	30	37	45	24
Жлобинский	34	37	35	30
Калинковичский	36	37	35	34
Кормянский	35	36	37	32
Лельчицкий	28	28	29	28
Лоевский	30	32	32	29
Мозырский	27	30	34	23
Наровлянский	27	29	32	24
Октябрьский	34	36	33	32
Петриковский	28	32	29	24
Речицкий	34	37	32	31
Рогачевский	36	37	36	34
Светлогорский	32	32	30	31
Хойникский	36	40	45	33
Чечерский	35	36	36	32
Итого по области:	33	35	35	30

Таблица 4 – Дозы минеральных (кг/га действующего вещества) и органических (т/га) удобрений под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур на супесчаных и песчаных почвах

Культура	Уровень планируемых урожаев, ц/га	Доза органических удобрений	Доза азотных удобрений	Доза фосфорных удобрений	Доза калийных удобрений
Озимые зерновые (пшеница, рожь)	30–40	20–30	90–100	60–70	90–100
Яровые культуры (ячмень, пшеница, овес)	30–40	20–25	80–90	50–60	80–90
Картофель	220–300	60–70	80–90	50–60	80–100
Сахарная свекла	310–400	70–80	110–120	80–90	120–140
Кукуруза (зеленая масса)	220–300	50–60	60–70	60–70	80–90
Однолетние травы (зеленая масса)	200–250	–	60–70	40–50	70–80
Многолетние травы (сено)	40–50	–	60–70	50–60	80–90

Таблица 5 – Дозы минеральных (кг/га действующего вещества) удобрений под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур на торфяно-болотных почвах

Культура	Уровень планируемых урожаев, ц/га	Доза азотных удобрений	Доза фосфорных удобрений	Доза калийных удобрений
Озимые зерновые (пшеница, рожь)	35–45	20–80	90–100	100–110
Яровые культуры (ячмень, пшеница, овес)	35–45	–	70–80	80–90
Картофель	260–350	–	110–130	130–150
Сахарная свекла	450–500	–	140–160	160–180
Кукуруза (зеленая масса)	290–380	–	80–90	90–100
Однолетние травы (зеленая масса)	250–300	–	70–80	80–90
Многолетние травы (сено)	45–60	30–40	80–90	90–100

Таблица 6 – Ежегодная потребность в микроудобрениях, т д. в.

Область	Бор	Медь	Марганец	Цинк
Брестская	31,23	16,23	10,43	25,53
Гомельская	28,77	16,66	8,2	39,98

Несмотря на большие суммарные затраты на проведение всего комплекса работ по повышению плодородия почв и защите их от деградации, эффективность мероприятий является положительной.

Общий земельный фонд Брестской и Гомельской области по состоянию на 1 января 2024 г. составляет 7315,9 тыс. га, из которых большую часть занимают

лесные угодья – 3379,7 тыс. га; далее следуют сельскохозяйственные угодья – 2578,8 тыс. га. Дифференцированно, по областям структура земельного фонда приведена в таблице 7 [1].

На одного жителя Брестской области приходится 1,00 га сельскохозяйственных земель, в Гомельской области – 0,94 га. Пахотных земель – 0,62 га и 0,67 га, соответственно.

В Гомельской области выделяются земли, загрязненные радионуклидами и выбывшие из сельскохозяйственного оборота. В настоящее время их площадь составляет 201,6 тыс. га.

В многолетнем разрезе структура земельного фонда имеет определенную динамику. Так, имеет место достаточно существенное снижение площадей сельскохозяйственных земель с 1990 года к настоящему времени. В то же время, площади пахотных земель находятся примерно на одном уровне, с некоторым снижением к 2005 и последующим ростом. Причины сокращения площадей сельскохозяйственных земель следующие:

- изъятие и предоставление в установленном порядке земель для развития регионов областей;
- перевод сельскохозяйственных земель в другие виды и категории;
- внутрихозяйственное строительство сельскохозяйственных объектов;
- зарастание древесно-кустарниковой растительностью земельных участков.

Таблица 7 – Структура земельного фонда Брестской и Гомельской области по видам земель

Вид земельных ресурсов	Брестская область		Гомельская область	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Всего сельскохозяйственных земель	1319,0	40,24	1259,8	31,20
в т. ч., пахотных	813,3		919,3	
залежных	0,0		0,0	
под постоянными культурами	13,6		11,9	
луговых	492,1		328,6	
из них улучшенных луговых	400,2		218,8	
Лесных земель	1269,0	38,72	2110,7	52,27
Земель под древесно-кустарниковой растительностью (насаждениями)	112,2	3,42	137,7	
Земель под болотами	224,1	6,84	145,6	3,61
Земель под поверхностными водными объектами	85,7	2,61	78,0	1,93
Земель под дорогами и транспортными коммуникациями	62,9	1,92	77,4	1,92
Земель общего пользования	15,9	0,49	18,7	0,46
Земель под застройкой	106,3	3,24	92,8	2,30
Нарушенных земель	0,0	0,00	0,0	0,00
Неиспользуемых земель	62,0	1,89	103,2	2,56
Иных земель	20,6	0,63	14,3	0,35
Общая площадь земель	3277,7	100,00	4038,2	100,00

Данные дистанционного зондирования Земли подтверждают интенсивное зарастание земельных участков в Барановичском, Березовском, Брестском, Ганцевичском, Дрогичинском, Жабинковском, Ивановском, Ивацевичском,

Каменецком, Кобринском, Лунинецком, Ляховичском, Малоритском, Пинском и Пружанском районах Брестской области, а также в Буда-Кошелевском, Ельском, Калинковичском, Кормянском, Лельчицком, Лоевском, Мозырском, Октябрьском и Светлогорском районах Гомельской области. Заращение сельскохозяйственных земель происходит в основном на естественных луговых землях, на мелкоконтурных земельных участках сельскохозяйственных земель, расположенных на значительном удалении от центров сельскохозяйственных организаций, среди лесных массивов, участков бывших торфоразработок, бывших пастбищ и сенокосов в поймах рек и их водоохраных зонах из-за ужесточения требований природоохранного законодательства, миграции сельского населения, уменьшения потребности в ведении подсобного хозяйства, частично заболоченных земельных участков вследствие выхода из строя мелиоративных систем и иных факторов [11].

В Республике Беларусь к субъектам хозяйствования, основным видом экономической деятельности которых является сельское хозяйство, относятся сельскохозяйственные организации и крестьянские (фермерские) хозяйства. Сельскохозяйственные организации – это юридические лица (кроме крестьянских (фермерских) хозяйств), их обособленные подразделения, имеющие отдельный баланс, основным и (или) второстепенным видом экономической деятельности которых является сельское хозяйство, кроме предоставления услуг в области растениеводства и животноводства (коды 011–015 общегосударственного классификатора Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности») [12]. По организационно-правовым формам эти юридические лица представлены как открытые и закрытые акционерные общества, общества с ограниченной ответственностью, общества с дополнительной ответственностью, производственные кооперативы, унитарные предприятия. Также сельским хозяйством занимаются физические лица, т. е. граждане, ведущие личные подсобные хозяйства, постоянно проживающие в сельской местности, и граждане, имеющие подсобные хозяйства, занимающиеся производством продукции сельского хозяйства с использованием придомовых земельных участков, коллективного садоводства, дачного строительства. Землепользователи владеют такими формами собственности как государственная, республиканская, коммунальная, частная собственность, среди них есть организации с долей государственной собственности, организации с долей иностранной собственности, с иностранной собственностью.

На территории Белорусского Полесья сельскохозяйственную деятельность ведут около 480 сельскохозяйственных организаций и около 1000 фермерских хозяйств, в которых по состоянию на 2021 год заняты около 93 000 человек [13]. Крупнейшими сельскохозяйственными организациями являются ОАО «Птицефабрика «Дружба», ОАО «Остромечево», ОАО «Тепличный комбинат Берестье», ОАО «Рыбхоз Днепробугский», ОАО «Беловежский», ОАО «Агро-Мотоль», СПК «Жеребковичи», ОАО «Ружаны-Агро», ОАО «Журавлиное», ОАО «Парохонское», ОАО «Полесские журавины», КСУП «Брилево», ОАО «Комбинат «Восток», ОАО «Туровщина», КСУП «Совхоз-комбинат «Заря», ОАО «Родина», ОАО «Имени Жукова», ОАО «Агрокомбинат «Южный», ОАО «Птицефабрика «Рассвет», ОАО «Комбинат «Восток», ОАО «Знамя Родины» и др.

Структура продукции сельского хозяйства включает в себя растениеводство (зерновые, овощные, технические культуры, льноволокно, картофель, свекла сахарная (преимущественно на территории Брестской области), фрукты и ягоды и другая продукция растениеводства) и животноводство (выращивание скота и птицы, молоко, яйца). Сельское хозяйство Белорусского Полесья специализировано на выращивании традиционных для умеренных широт культур. Среди зерновых преобладают преимущественно рожь, пшеница, ячмень, кормовые культуры и картофель. Развито овощеводство и сбор/выращивание ягод, особенно на западе Полесья. В животноводстве в основном выращивается крупный рогатый скот для производства молока и мяса, а также свиньи и птица.

Структура производства сельскохозяйственной продукции достаточно устойчива и к настоящему времени сложилось пять зон специализации [14]:

1) молочно-мясное и мясо-молочное животноводство, развитое свиноводство и льноводство;

2) молочно-мясное и мясо-молочное животноводство, картофелеводство, посевы льна-долгунца;

3) высокоразвитое мясо-молочное и молочно-мясное животноводство, свиноводство и свеклосеяние;

4) мясо-молочное и молочно-мясное животноводство, развитое свиноводство и картофелеводство;

5) пригородное молочное и мясо-молочное животноводство, птицеводство, картофелеводство и овощеводство.

Общая посевная площадь земель Белорусского Полесья составляет около 2000 тыс. га, из которых 1800 тыс. га приходится на сельскохозяйственные организации, 50 тыс. га – на крестьянские (фермерские) хозяйства, 124 тыс. га заняты под хозяйства населения. Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в среднем составляет 2200–2500 тыс. тонн в год, кормовых культур – 980 тыс. тонн, картофеля – от 1800 до 2100 тыс. тонн, рапса – от 50 до 170 тыс. тонн в разные годы, овощей – 620–680 тыс. тонн, свеклы сахарной – от 600 до 1000 тыс. тонн на западе Полесья, льноволокна – 3–8 тыс. тонн, фруктов и ягод – 150–250 тыс. тонн. поголовье крупного рогатого скота составляет примерно 1500 тыс. голов, в том числе поголовье коров – 530 тыс. голов, свиней – 800 тыс. голов, лошадей – 14 тыс. голов, овец – 30 тыс. голов, птицы – 14500 тыс. голов. Производство молока составляет 3000 тыс. тонн при среднем удое молока от коровы 5300 килограммов в среднем за год. Производство яиц составляет в среднем 1000 млн штук [13].

Около 800 тыс. га составляет общая посевная площадь зерновых и зернобобовых культур (урожайность 24–39 ц/га), кормовых культур – 980 тыс. га, картофеля – 93 тыс. га (урожайность 180–220 ц/га), рапса – 88 тыс. га (урожайность 9–24 ц/га), овощей – 24 тыс. га (урожайность 200–340 ц/га), свеклы сахарной – 17 тыс. га (урожайность 300–450 ц/га), льна – 10 тыс. га (урожайность 6–15 ц/га) [13]. В таблице 8 приведена урожайность основных сельскохозяйственных культур по годам за период 2018–2023 гг.

Таблица 8 – Урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га

Область	Вид продукции растениеводства	Годы					
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Брестская	Картофель	291,0	297,0	270,0	268,0	298,0	391,0
	Овощи	335,0	422,0	405,0	384,0	431,0	508,0
	Рапс	19,7	24,6	27,8	23,2	29,3	32,3
	Свекла сахарная	394,0	416,0	409,0	442,0	470,0	425,0
	Зерновые и зерно-бобовые культуры	28,8	35,4	39,3	34,4	39,1	39,4
Гомельская	Картофель	197,0	213,0	190,0	161,0	206,0	309,0
	Овощи	167,0	187,0	178,0	155,0	150,0	124,0
	Рапс	10,1	10,8	14,8	15,5	15,1	15,9
	Свекла сахарная	–	–	–	109,0	225,0	367,0
	Зерновые и зерно-бобовые культуры	20,0	21,8	27,0	23,0	23,2	20,7

Как видно из таблицы 8, урожайность существенно колеблется по годам и зависит, прежде всего от погодных факторов, складывающихся в конкретном году. Потери урожайности от неблагоприятных погодных условий в отдельные годы в разрезе районов могут достигать 20–25 % [6]. Анализ временных рядов урожайности по основным культурам показал, что ее пик пришелся на конец 80-х годов прошлого столетия. К этому времени сложилась оптимальная культура земледелия, возросло качество посевного материала, внедрены прогрессивные агротехнические приемы и, самое главное, посредством мелиораций улучшен водно-воздушный и тепловой режим почв. Однако с распадом Советского Союза снизилось финансирование потребностей сельхозпроизводства, произошло разрушение мелиоративных систем и их сооружений, обострилась проблема деградации земель. Впоследствии свою негативную роль сыграли экстремальные климатические явления – заморозки и участвовавшая засухи и засушливые явления.

Одним из современных направлений ведения сельского хозяйства является органическое земледелие [15]. Так, Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года предполагает доведение к этому времени доли площадей под органическим сельским хозяйством до 3 %, при этом получение продуктов здорового питания и органических пищевых продуктов до 20 % [16]. Все это возможно на наш взгляд при создании условий рационального использования природных ресурсов (почвенных, водных, климатических и др.) на мелиорируемых землях.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что почвенный покров и структура земельного фонда территории Белорусского Полесья способствуют интенсификации сельскохозяйственного производства, что является важным фактором обеспечения Национальной безопасности Республики Беларусь посредством обеспечения ее продовольственной безопасности. Однако ведение сельского хозяйства невозможно без оптимизации его структуры и комплексных мероприятий по увеличению почвенного плодородия.

Список цитированных источников

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь / Государственный комитет по имуществу Респ. Беларусь. – Минск, 2024. – 59 с.
2. Почвы Беларуси : учеб. пособие для студентов агрономических специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / А. И. Горбылева [и др.] ; под ред. А. И. Горбылевой. – Минск : ИВЦ Минфина. – 2007. – 184 с.
3. Сайганов, А. Методические подходы к учету влияния природно-экономических условий на производственную структуру и специализацию сельскохозяйственных организаций / А. Сайганов, Е. Горбачева, Т. Запрудская // Аграрная экономика. – 2023. – Т. 1. – № 11. – С. 3–15.
4. Михальчук, Н. В. Гидрогенно-карбонатные ландшафты Полесья: генезис, состояние фитобиоты, охрана / Н. В. Михальчук. – Минск : Белорусская наука, 2015. – 317 с.
5. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Практическое пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, П. И. Смяяна. – Минск : Оргстрой, 2001. – 402 с.
6. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека [и др.] . – Рязань : ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, Мещер. ф-л. – 2018. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 1 : Природно-ресурсный потенциал. – 408 с.
7. Бачила, С. С. Деградация осушенных земель и их потенциальное плодородие / С. С. Бачила : материалы II съезда Бел. об-ва почвоведов : в 3 кн. – Минск, 2001. – Кн. 3. – С. 12–14.
8. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. П. Кулаковской, П. П. Рогового, Н. И. Смяяна. – Минск : Ураджай, 1974.
9. Гусаков, Г. В. Формирование продовольственной безопасности Республики Беларусь с учетом ключевых особенностей сельскохозяйственного производства / Г. В. Гусаков // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси = Economic issues of agricultural development of Belarus : межведомств. темат. сб. / Ин-т систем. исслед. в АПК Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2019. – Вып. 47. – С. 76–83.
10. Лапа, В. В. Основные мероприятия по повышению плодородия почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2 (65). – С. 7–25.
11. Главный информ.-аналитич. центр Нац. системы мониторинга окруж. среды в Респ. Беларусь. – URL: <https://nsmos.by/> (дата обращения: 20.09.2024).
12. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [сайт]. – URL: <http://belstat.gov.by/> (дата обращения: 20.09.2024).
13. Сельское хозяйство Республики Беларусь : статистич. сборник / Нац. статистич. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 179 с.
14. Гусаков, В. Г. Комплекс неотложных мер по повышению эффективности сельскохозяйственного производства в контексте выполнения Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 годы / В. Г. Гусаков [и др.] ; под ред. В. Г. Гусакова. – Минск : Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2008. – 256 с.
15. Скрипчук, П. М. Проблемы и перспективы развития органического земледелия в Припятском Полесье Республики Беларусь / П. М. Скрипчук, С. В. Тыновец, В. С. Филипенко, И. В. Тыновец // Збалансоване природокористування. – 2018. – № 3. – С. 40–49.
16. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года : постан. Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // Мин-во сельского хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – URL: <https://mshp.gov.by/ru> (дата обращения: 21.09.2024).

References

1. Reestr zemel'nyh resursov Respubliki Belarus'. Gosudarstvennyj komitet po imushhestvu Respubliki Belarus'. – Minsk, 2024. – 59 s.
2. Pochvy Belarusi: ucheb. posobie dlja studentov agronomicheskikh special'nostej uchrezhdenij, obespechivajushhij poluchenie vysshego obrazovanija / A. I. Gorbyleva [i dr.]; pod red. A. I. Gorbylevoj. – Minsk: IVC Minfina. 2007. – 184 s.

3. Sajganov, A. Metodicheskie podhody k uchetu vlijaniya prirodno-jekonomicheskikh uslovij na proizvodstvennuju strukturu i specializaciju sel'skohozjajstvennyh organizacij / A. Sajganov, E. Gorbachjova, T. Zaprudskaja // Agrarnaja jekonomika. – 2023. – T. 1, № 11. – S. 3–15.
4. Mihal'chuk, N. V. Gidrogenno-karbonatnye landshafty Poles'ja: genezis, sostojanie fitiobioty, ohrana / N. V. Mihal'chuk. – Minsk: Belorusskaja nauka, 2015. – 317 c.
5. Pochvy sel'skohozjajstvennyh zemel' Respubliki Belarus'. Prakticheskoe posobie / pod red. G. I. Kuznecova, P. I. Smejana. – Minsk: Orgstroj, 2001. – 402 s.
6. Prirodoobustrojstvo Poles'ja: monografija : v 4 kn. / pod obshh. nauch. red. Ju. A. Mazhajskogo, A. N. Rokochinskogo, A. A. Volcheka, O. P. Meshika, E. Eznaha. – Rjazan': Meshher. f-l FGBNU «VNIIGiM im. A. N. Kostjakova», 2018. – Kn. 1 : Belorusskoe Poles'e. – T. 1 : Prirodno-resursnyj potencial. – 408 s.
7. Bachila, S. S. Degradacija osushennyh zemel' i ih potencial'noe plodorodie / C. C. Bachila // Materialy II s#ezda Bel. o-va pochvedovedov : v 3 kn. – Minsk, 2001. – Kn. 3. – S. 12–14.
8. Pochvy Belorusskoj SSR / pod red. T. P. Kulakovskoj, P. P. Rogovogo, N. I. Smejana. – Minsk: Uradzhaj, 1974.
9. Gusakov, G. V. Formirovanie prodovol'stvennoj bezopasnosti Respubliki Belarus' s uchetom ključevyh osobennostej sel'skohozjajstvennogo proizvodstva / G. V. Gusakov // Jekonomicheskie voprosy razvitija sel'skogo hozjajstva Belarusi = Economic issues of agricultural development of Belarus : mezhdzvedomstv. temat. sb. / In-t sistem. issled. v APK Nac. akad. nauk Belarusi. – Minsk, 2019. – Vyp. 47. – S. 76–83.
10. Lapa, V. V. Osnovnye meroprijatija po povysheniju plodorodija pochv sel'skohozjajstvennyh zemel' Respubliki Belarus' na 2021–2025 gody / V. V. Lapa [i dr.] // Pochvedovedenie i agrohimija. – 2020. – № 2(65). – S. 7–25.
11. Glavnyj informacionno-analiticheskij centr Nacional'noj sistemy monitoringa okružhajushhej sredy v Respublike Belarus' [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa – <https://nsmos.by/>. – Data dostupa: 20.09.2024.
12. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://belstat.gov.by/>. – Data dostupa: 20.09.2024.
13. Sel'skoe hozjajstvo Respubliki Belarus'. Statisticheskij sbornik. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. – Minsk, 2021. – 179 s.
14. Gusakov, V. G. Kompleks neotlozhnyh mer po povysheniju jeffektivnosti sel'skohozjajstvennogo proizvodstva v kontekste vypolnenija Gosudarstvennoj programmy vozrozhdenija i razvitija sela na 2005-2010 gody / Gusakov V. G. [i dr.]; pod red. V. G. Gusakova. – Minsk: In-t sistemnyh issledovanij v APK NAN Belarusi, 2008. – 256 s.
15. Skripchuk, P. M. Problemy i perspektivy razvitija organicheskogo zemledelija v Pripjatskom Poles'e Respubliki Belarus' / P. M. Skripchuk, S. V. Tynovec, V. S. Filipenko, I. V. Tynovec // Zbalansovane prirodo-koristuvannja : nauko-vo-praktichnij zhurnal. – 2018. – № 3. – S. 40–49.
16. Doktrina nacional'noj prodovol'stvennoj bezopasnosti Respubliki Belarus' do 2030 goda [Jelektronnyj resurs] : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 15 dek. 2017 g., № 962 // Ministerstvo sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa – <https://mshp.gov.by/ru>. – Data dostupa: 21.09.2024.

УДК 631.1

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

*К. А. Москаленко, магистрант, Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, Горки, Беларусь, overlord.moskalenko@yandex.ru*

Реферат

В современном мире перед предприятиями стоит задача эффективного управления не только производственной, но и сбытовой деятельностью, что предъявляет определенные требования так же к своевременности и точности

поступающей информации. Выбор оптимального метода управления будет способствовать эффективному функционированию предприятия, включая сбыт готовой продукции. Маркетинг как концепция управления на предприятии позволяет системно подойти ко всей производственно-сбытовой деятельности, в соответствии с требованиями рынков и управлять предприятиями максимально учитывая особенности их деятельности.

Ключевые слова: предприятие, методы управления, производственно-сбытовая деятельность, маркетинг

MANAGEMENT OF PRODUCTION AND SALES ACTIVITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

К. А. Moskalenko

Abstract

In the modern world enterprises face the task of effectively managing not only production, but also sales activities, which also imposes certain requirements on the timeliness and accuracy of incoming information. The choice of the optimal management method will contribute to the effective functioning of the enterprise, including the sale of finished products. Marketing as an enterprise management concept allows you to systematically approach all production and sales activities in accordance with the requirements of the markets and manage enterprises taking into account the specifics of their activities as much as possible.

Keywords: enterprise, management methods, production and sales activities, marketing

Введение

Наблюдающиеся в настоящее время в экономике Республики Беларусь трансформационные процессы, выявили ряд проблем в деятельности белорусских предприятий АПК. В частности, неэффективное использование производственных мощностей, высокий уровень издержек производства и обращения, слабое владение рыночными инструментами и методами хозяйствования, в ряде случаев низкое качество выпускаемой продукции и трудности с ее сбытом, недостаточный уровень мотивации и стимулирования сотрудников.

В современных рыночных условиях производственно-сбытовая деятельность предприятий АПК включает в себя операции, связанные как с производством продукции и доставкой ее потребителю, так и предоставлением иных услуг. Рост конкуренции ставит перед управлением новые задачи по ведению производственно-хозяйственной деятельности – формирование рынка потребителей, сокращения сроков конкурентного преимущества, усиление роли нематериальных активов (знание рынков сбыта, потребность потребителей в продукте или услуге, повышение имиджа предприятия, реклама). Система управления предприятием должна иметь клиентоориентированный подход, что предполагает не только быстрое реагирование на изменение потребностей и запросов своих клиентов, но и умение понимать, предугадывать и направлять эти потребности, то есть управлять ими. Такой подход диктует необходимость интеграции производственной, маркетинговой и логистической концепций в управлении производственно-сбытовой деятельностью предприятий.

В настоящее время отечественные предприятия пытаются выжить в довольно сложных условиях трансформации экономики, недостатке инвестиций, устаревшем и низко производительном оборудовании. Грамотное управление производственно-сбытовой деятельностью предприятия напрямую связано с повышением его эффективности в условиях рынка. Для повышения эффективности производственно-сбытовой деятельности предприятия, руководители организаций должны четко понимать свои цели, а также пути их достижения. Чтобы оставаться дееспособными в течение продолжительного времени необходимо периодически разрабатывать новые виды продукции или услуг, постоянно вести конкурентную борьбу за занятие или сохранение позиции на рынке, периодически менять свои цели в соответствии с изменяющимися потребностям клиента и конъюнктурой рынка, учитывать изменения других факторов внешней среды на текущий и перспективный периоды исходя из обеспеченности текущей и планируемой деятельности необходимыми финансовыми, материальными и трудовыми ресурсами.

Создание и развитие системы управления в сфере производства и сбыта продукции на предприятиях АПК охватывает путь от примитивных методов ручного сбора информации и учета ресурсов до передовых автоматизированных решений. От простых способов упорядочивания данных о запасах ресурсов и мощностях предприятия до инновационных ИТ-систем, внедряемых на всех уровнях, от фермерских хозяйств до крупных предприятий. Современная модель управления производственно-сбытовой деятельностью предприятий базируется на глубоком анализе рыночных трендов, интеграции ключевых направлений: производства, маркетинга и логистики для оптимальной координации процессов [1, с. 113].

Производственная и сбытовая деятельность предприятия являются взаимодополняющими, определяют его жизне- и конкурентоспособность. Производство формирует товарную основу торговли и в значительной степени зависит от сбыта, так как без эффективной реализации продукции неминуемо затоваривание с последующим проблемами. Предприятиям приходится решать сложные задачи в области управления, к которым относятся:

- понижение себестоимости готовой продукции за счет оптимизации процесса управления производством и закупками;
- увеличение объема продаж за счет удовлетворения внешнего спроса;
- сокращение периода производственного цикла;
- уменьшение запасов сырья, незавершенного производства и готовой продукции;
- снижение операционных расходов и др.

Осуществление производственно-сбытовой деятельности предприятия, основанное на изучении рынка и приспособления к нему выпуска продукции, обеспечивает независимое структурное подразделение предприятия – служба маркетинга [2, с. 120].

Служба маркетинга обеспечивает целенаправленное изучение рынка и учитывает все условия спроса. Адаптирует к нему производство и сбыт продукции (товаров) или услуг в ближайшей и более отдаленной перспективе с четко поставленными целями и досконально проработанным планом их достижения,

с определенными организационно-управленческими, финансовыми, материальными и техническими механизмами для их осуществления.

Важно понимать четкое различие между обычной производственно-сбытовой деятельностью и маркетингом [3, с. 233].

Маркетинг как концепция управления производственно-сбытовой деятельностью не является постоянным, он все время эволюционирует, приспособляясь к меняющимся условиям рынка. Основным принципом маркетинга ориентирован на организацию производства таких товаров, которые востребованы на рынке и их можно выгодно продать [4, с. 11].

Маркетинг имеет ряд общих функций, с присущей любому типу управления производственно-сбытовой деятельностью, таких как разработка маркетинговых стратегий и программ, планирование (целеполагание), организация, координирование, учет, контроль и оценка маркетинговой деятельности. Предполагает формирование маркетинговых служб и координацию их деятельности с остальными подразделениями предприятия [5, с. 21].

Речь идет, прежде всего, об участии в решении вопросов, касающихся разработки и внедрения новых товаров, эффективном управлении потоками информации по анализу рынка и портфеля заказов предприятия.

Все сферы функционирования предприятия, включая и распределение готовой продукции, охватывает комплексный логистический подход к управлению. Он основан на нетрадиционных принципах и экономическом мировоззрении и, соответственно, предъявляет специфические требования к организации и управлению процессом производственно-сбытовой деятельности предприятия.

При создании на предприятии подразделения сбыта учитываются следующие вопросы: по какому признаку будет осуществляться сбыт продукции (региональному, отраслевому, функциональному, продуктовому, по типу покупателей или др.), имеется ли сеть дилеров или агентов по сбыту, возможность отпуска товара на консигнацию, будет ли сбытовое подразделение принимать заказы на поставку товаров в определенный срок и т. д. Сбыт продукции, помимо непосредственно продажи товара, включает в себя также его транспортировку, складирование, хранение, доработку, продвижение и предпродажную подготовку. На некоторых предприятиях данную систему разбивают на две относительно самостоятельные подсистемы – товародвижение и сбыт.

Основные аспекты сбытовой деятельности на предприятии включают в себя:

- исследование процесса планирования в сфере продаж;
- анализ коммуникационной стратегии, включая оценку взаимодействия как со стороны поставщиков, так и потребителей;
- изучение структуры и механизмов управления сбытовой системой;
- контрольные функции по производственно-сбытовым процессам на уровне всего предприятия и его отдельных сегментов или рынков сбыта.

При проведении анализа процесса сбыта проводится оценка точности прогнозов в области продаж с последующей их корректировкой либо пересмотром методологии. Также анализируется уровень профессиональной подготовки персонала и эффективность систем обучения (переподготовки, повышения квалификации).

Процессы производственно-сбытовой деятельности отражаются на прибыльности предприятия и достигается путем снижения затрат (расходы

на закупаемые материалы и сырье, энергию, транспортные услуги и оплату труда) и получении максимальных доходов от выпуска и реализации выпускаемой продукции [6, с. 16].

Прибыльность предприятия напрямую влияет на его платежеспособность. Соответственно, внедрение финансового управления можно использовать как эффективный механизм воздействия на процесс производственно-сбытовой деятельности аграрного предприятия.

Финансовая стратегия предприятия включает в себя разработку и внедрение курсовых принципов финансирования и политики предприятия, формирование инвестиционного портфеля, включая оценку экономической целесообразности проектов, прогнозирование их финансовой отдачи и выбор оптимальных источников и механизмов финансирования. Создание детально проработанных финансовых планов обеспечивается применением разнообразных экономических инструментов, разработкой контрольных мероприятий для поддержания стабильной хозяйственной деятельности предприятия в целом.

Основополагающими элементами финансового управления агропромышленного предприятия является финансовый анализ и отчетность, включающая сбор данных, их структурирование и глубокое исследование. Это обеспечивает создание надежной информационной базы, необходимой для эффективного управления агропромышленным комплексом и принятия обоснованных решений в области финансово-хозяйственной деятельности. Таким образом, система управления финансами служит фундаментом для успешного функционирования предприятия АПК.

Особую роль в области финансового менеджмента для решения ряда вопросов играет инвестирование и выбор источников финансирования. В рамках финансового управления предприятием проводится оценка возможных инвестиционных проектов и формируется портфель инвестиций, в том числе, проводится оценка затрат, финансовое планирование и контроль за выполнением [7, с. 501].

В то же время одной из первостепенных задач повышения эффективности производственно-сбытовой деятельности предприятий является анализ как материальных, так и нематериальных ресурсов производственно-сбытовой деятельности. Оценка имеющихся у предприятия ресурсов, составление и реализация плана комплекса мероприятий по усовершенствованию учета и распределения ресурсов предприятия позволят регулировать спрос на ресурсы, который непосредственно зависит от спроса на готовую продукцию [8, с. 34]. Комплексное планирование основных видов материалов и мероприятий по усовершенствованию управления ресурсами предприятия формируется в соответствии с предельными издержками и предельной доходностью.

В современном мире на предприятиях АПК необходимо наличие современных автоматизированных информационных систем, которые в полной мере удовлетворят высокие требования к точности и своевременности поступления информации о наличии на предприятии материалов и ресурсов, процесс и пути их перемещения, контроль производства и сбыта продукции в условиях постоянной трансформации внешней и внутренней среды предприятия. Они также отражают изменения в денежной наличности в результате различных сделок и

используются при исчислении чистой прибыли. Для осуществления производственно-сбытовой деятельности применяется косвенный метод определения полученной или использованной наличности, поскольку на размеры чистой прибыли влияют разные факторы [6, с. 255].

Таким образом, в настоящее время, в условиях нестабильного рынка, существование и развитие предприятий АПК зависит от их умения приспособляться к изменяющимся условиям окружающей среды. Совершенствование управления производственно-сбытовой деятельностью предприятий АПК является одной из главных задач и зависит от составления и реализации комплексного плана по снижению издержек и повышению эффективности производства.

При управлении производственно-сбытовой деятельностью предприятия на всех этапах необходимо решать проблемы уменьшения издержек и обеспечивать повышение эффективности производства в долгосрочной и краткосрочной перспективе. Решение этих проблем требует, принятия и реализации осознанных управленческих решений, ориентированных на будущее и способных обеспечить их экономическую состоятельность.

Повышением эффективности производственно-сбытовой деятельности предприятий является анализ как материальных, так и не материальных ресурсов, разностороннее изучение рынка сбыта.

Как концепция управления маркетинг на предприятии позволяет системно подойти ко всей производственно-сбытовой деятельности, четко определить цели и задачи для разработки методик по их достижению, определить соответствующие технические и финансовые механизмы для их реализации, материальную базу и создать организационно-управленческий аппарат, контролировать спрос на готовую продукцию и регулировать спрос на необходимые предприятию ресурсы.

Следовательно, при управлении предприятиями АПК необходимо решать широкий круг задач. С одной стороны, требующих нестандартного мышления и поведения руководителей; зависящей от стратегической компетенции и осознания необходимости изменений и обновления производства разработки альтернативных стратегии развития и обеспечения конкурентоспособного хозяйствования. С другой стороны, необходим прагматический подход, определяющий интеграционные процессы в деятельности предприятия и ориентации его на конкретный результат.

Список цитированных источников

1. Бабич, Н. А. Лесные культуры : учеб. пособ. / Н. А. Бабич, Н. М. Набатов ; М-во образования и науки Российской Федер., Северный (Арктический) федеральный ун-т. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. – 166 с.
2. Справочник директора предприятия ; под ред. М. Г. Лапусты. – 5-е изд. – М. : ИНФРА-М. – 2001. – 750 с. (Серия «Справочники ИНФРА – М»).
3. Шишкин, А. Ф. Экономическая теория : учебник для экономич. специальностей вузов : в 2 кн. / А. Ф. Шишкин. – 2-е изд. – М. : ВЛАДОС, 1996. – Кн. 2. – 349 с.
4. Эриашвили, Н. Д. Маркетинг: учебник для вузов / Н. Д. Эриашвили, К. Ховард, Ю. А. Цыпкин [и др.] ; под ред. Н. Д. Эриашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 623 с.
5. Ноздрева, Р. Б. Маркетинг : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент. Квалификация (степень) «бакалавр» / Р. Б. Ноздрева ; МГИМО (ун-т) МИД России. – М. : Аспект Пресс, 2016. – 447 с.

6. Герчикова, И. Н. Менеджмент : учебник ; гл. редактор Н. Д. Эриашвили. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 501 с.
7. Гончаров, В. И. Менеджмент : учеб. пособие / В. И. Гончаров. – Минск : Мисанта, 2003. – 623 с.
8. Мовсум-заде, М. Э. Стратегия поведения предприятий в условиях рыночной экономики / М. Э. Мовсум-заде, Л. И. Ванчухина, Т. Б. Лейберт, М. А. Шаталина. – Уфа : Реактив, 2001. – 178 с.

References

1. Babich, N. A. Lesnye kul'tury : uchebnoe posobie / N. A. Babich, N. M. Nabatov ; M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Severnyj (Arkticheskiy) federal'nyj un-t. - Arhangel'sk : Severnyj (Arkticheskiy) federal'nyj universitet, 2010. – 166 s.
2. Spravochnik direktora predpriyatija. Pod redakciej M. G. Lapusty. 5-e izdanie. 2001 god. M. INFRA – M. Serija «Spravochniki INFRA – M». – 750 s.
3. Shishkin, A. F. Jekonomicheskaja teorija : uchebnik dlja jekonomicheskikh special'nostej vuzov] (v 2 kn.) / Shishkin A. F. – 2-e izd. – Moskva : VLADOS, 1996. Kn. 2. – 1996. – 349 s.
4. Jeriashvili, N. D. Marketing: Uchebnik dlja vuzov / N. D. Jeriashvili, K. Hovard, Ju. A. Cypkin I dr.; Pod red. M26 N. D. Jeriashvili. – 2-e izd., pererab. I dop. – M.: JuNITI-DANA, 2001. – 623 s.
5. Nozdreva, R. B. Marketing : uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhij po napravleniju podgotovki 38.03.02 «Menedzhment». Kvalifikacija (stepen') «bakalavr» / R.B. Nozdreva ; Moskovskij gos. In-t (un-t) mezhdunarodnyh otnoshenij MID Rossii. – Moskva : Aspekt Press, 2016. – 447 s.
6. Gerchikova, I. N. Menedzhment: Uchebnik. – 3-e izd., pererab. I dop. – gl. 236edactor izd-va N. D. Jeriashvili – M.: Banki I birzhi, JuNITI, 1997. – 501 s.
7. Goncharov, V. I. Menedzhment : Ucheb. Posobie / V. I. Goncharov. – Minsk : Misanta, 2003. – 623 s.
8. Movsumzade, M. Je. Strategija povedenija predpriyatij v uslovijah rynochnoj jekonomiki / M. Je. Movsum-zade, L. I. Vanchuhina, T. B. Lejbert, M. A. Shatalina. – Ufa : Reaktiv, 2001. – 178 s.

УДК 697.1, 697.9, 699.86

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОРИТЕТОВ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОЕКТУ

*В. Г. Новосельцев, к. т. н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения
и вентиляции, Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь*

*Д. В. Новосельцева, к. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь*

*В. В. Лукаш, к. т. н., доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь*

Аннотация

При проектировании систем водяного отопления необходимо избежать необоснованного использования лишнего оборудования, превышения диаметров сверх необходимых значений и т. д. В реальности встречаются отклонения от проекта при монтаже, которые приводят к необходимости пересмотра параметров работоспособности системы. Одним из случаев является замена трубопроводов одного диаметра на другой.

В статье рассмотрен конкретный случай для системы водяного отопления жилого дома с частично измененными диаметрами поквартирных трубопроводов.

Расчеты показали, что установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов. Однако уменьшение диаметров трубопроводов привело к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов. Следствием уменьшения авторитетов является снижение эффективности регулирования системой отопления, то есть снижаются возможности по экономии тепловой энергии.

Ключевые слова: система водяного отопления, термостатический клапан, гидравлический расчет, пропускная способность, циркуляционный насос, авторитет клапана.

ENSURING THE AUTHORITY OF THERMOSTATIC VALVES IN A WATER HEATING SYSTEM THAT DOES NOT CORRESPOND TO THE PROJECT

U. G. Navaseltsau, D. U. Navaseltsava, U. U. Luksha

Abstract

When designing water heating systems, it is necessary to avoid the unjustified use of unnecessary equipment, exceeding diameters beyond the required values, etc. In reality, there are deviations from the design during installation, which lead to the need to revise the system performance parameters. One of the cases is the replacement of pipelines of one diameter with another.

The article considers a specific case for the water heating system of an apartment building with partially changed diameters of apartment pipelines.

Calculations have shown that the installed pump is sufficient to operate the heating system with the actual diameters of the pipelines. However, a decrease in pipeline diameters led to an increase in hydraulic resistances and, as a result, a decrease in the automatic settings of thermostatic valves. The consequence of a decrease in authority is a decrease in the efficiency of regulation by the heating system, that is, the possibilities for saving thermal energy are reduced.

Keywords: water heating system, thermostatic valve, hydraulic calculation, throughput, circulation pump, valve authority.

Введение

Цель систем отопления – создание теплового комфорта в помещениях при минимуме потребления энергоресурсов. При проектировании систем водяного отопления необходимо избежать необоснованного использования ненужного оборудования, превышения диаметров сверх необходимых значений и т. д.

В разных работах рассматриваются вопросы обоснования применения различных видов оборудования для обеспечения оптимальной работы и энергоэффективности систем отопления [1–3].

В реальности встречаются отклонения от проекта при монтаже, которые приводят к необходимости пересмотра параметров работоспособности системы. Одним из случаев является замена трубопроводов одного диаметра на другой.

Рассмотрение перспектив работы такой системы отопления на примере является целью данной работы.

Объект исследования

Для примера рассмотрена система водяного отопления в жилом 11-этажном доме, в г. Бресте (Беларусь), 2019 года постройки.

В соответствии с проектом предусмотрены следующие решения системы отопления.

В доме запроектирована поквартирная двухтрубная горизонтальная система водяного отопления с установкой счетчиков учета теплоты для каждой квартиры. Схема системы поквартирного отопления представляет собой пару подающих и обратных вертикальных стояков (для каждой из 2-х секций здания), к которым поэтажно подключаются циркуляционные кольца отдельных квартир. Системы отопления квартир присоединяются через распределительные коллекторы, расположенные на каждом этаже в распределительных шкафах.

Система теплоснабжения распределительных коллекторов выполняется из стальных труб, система отопления от распределительных коллекторов – из полиэтиленовых труб с антидиффузионной защитой, проложенных скрыто в конструкции пола в защитной гофрированной трубе типа «пешель». На вводе каждого из распределителей установлен автоматический регулятор перепада давления в паре с клапаном-партнером для подсоединения капиллярной трубки. От распределителя на ответвлениях к каждой квартире устанавливается ручной балансировочный клапан, фильтр, теплосчетчик ультразвуковой и запорная арматура. В качестве нагревательных приборов применены стальные панельные радиаторы марки «Лидея компакт». Для регулирования теплоотдачи отопительных приборов используются термостатические клапаны с предварительной настройкой. На обратной подводке к радиаторам установлены запорно-регулирующие клапаны.

В качестве нагревательных приборов применены стальные панельные радиаторы марки «Лидея компакт». Для регулирования теплоотдачи отопительных приборов используются термостатические клапаны с предварительной настройкой. На обратной подводке к радиаторам установлены запорно-регулирующие клапаны.

При монтаже системы отопления поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми трубопроводами диаметром $18 \times 2,5$ мм и 14×2 мм вместо проектных $25 \times 3,5$ мм и 16×2 мм.

Методика выполнения исследований

Для анализа перспектив функционирования запроектированной системы отопления выполнены расчеты гидравлических сопротивлений в системе при максимальных расходах теплоносителя, а также соотнесение их с параметрами установленного в индивидуальном тепловом пункте насосного оборудования.

Определяем расходы воды на участках по формуле

$$G = \frac{0,86 \cdot Q_{уч}}{(t_r - t_o)}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где $Q_{уч}$ – тепловая нагрузка на расчетном участке, Вт; t_r – расчетная температура воды на входе в систему отопления (по проектным данным – 90°C); t_o – расчетная температура обратной воды на выходе из системы отопления (по проектным данным – 70°C).

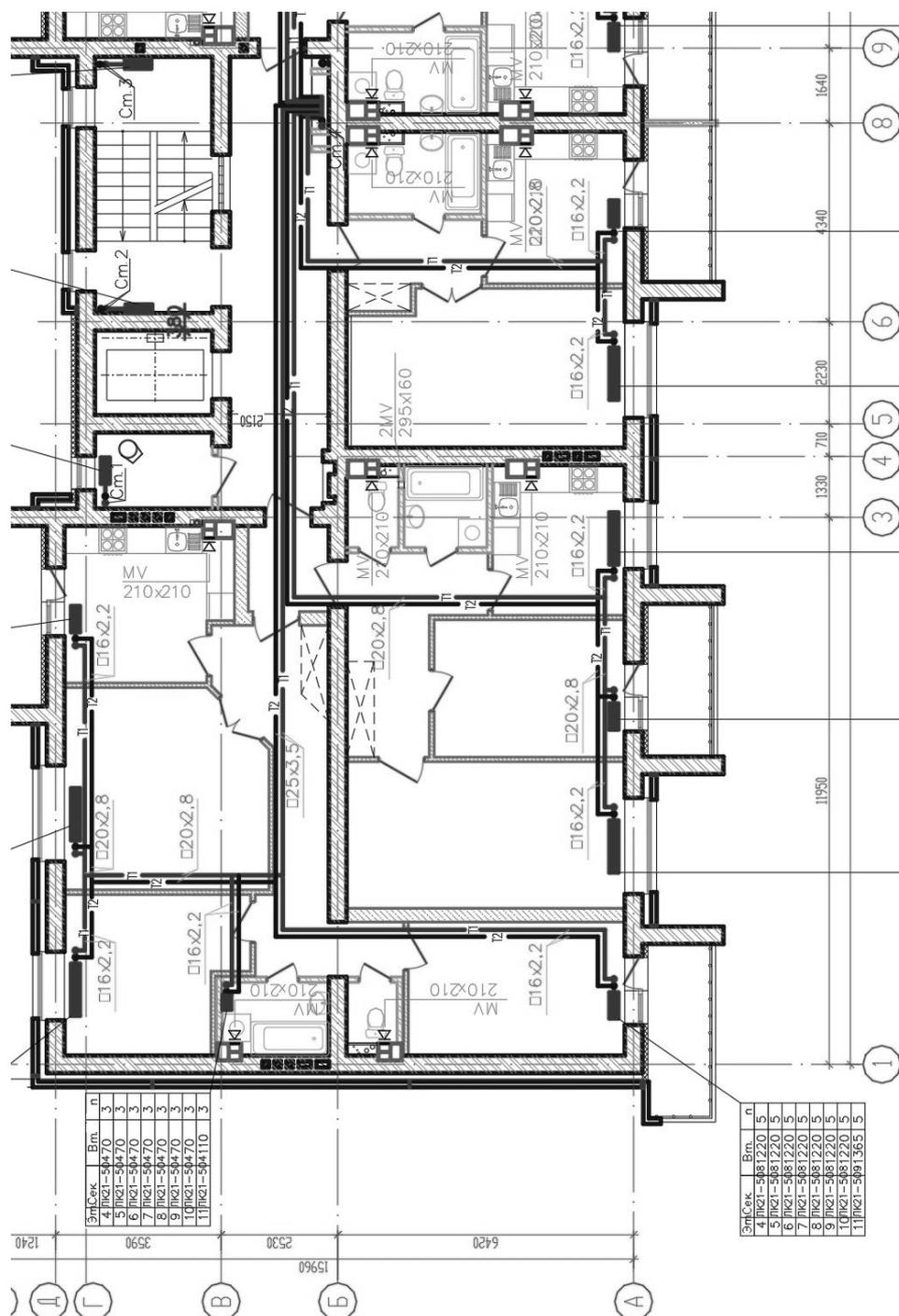


Рисунок 1 – План 11 этажа в осях 1–12 с элементами системы отопления

По расходам воды на участках по таблицам для гидравлического расчета (данные производителей трубопроводов) определяем для принятых диаметров величину удельных потерь давления $R_{уд}$, Па/м и скорость движения воды V , м/с. Оптимальная расчетная скорость движения воды для полимерных трубопроводов должна определяться по рекомендациям изготовителей трубопроводов, в большинстве случаев скорость составляет до 0,5...0,7 м/с для полимерных труб, удельная потеря давления на трение $R_{уд}$ в среднем 100...250 Па/м. Например, по рекомендациям известного производителя полимерных трубопроводов фирмы KAN-therm, за скорость в металлополимерных и полиэтиленовых трубопроводах, проходящих в конструкции пола, следует принимать значения, соответствующие экономичным гидравлическим сопротивлениям $R_{уд}=150 - 250$ Па/м:

Ø14 × 2	v = 0,3 ÷ 0,4 м/с
Ø16 × 2	v = 0,35 ÷ 0,45 м/с
Ø18 × 2,5	v = 0,4 ÷ 0,5 м/с
Ø20 × 2,8	v = 0,45 ÷ 0,6 м/с
Ø25 × 3,5	v = 0,5 ÷ 0,6 м/с

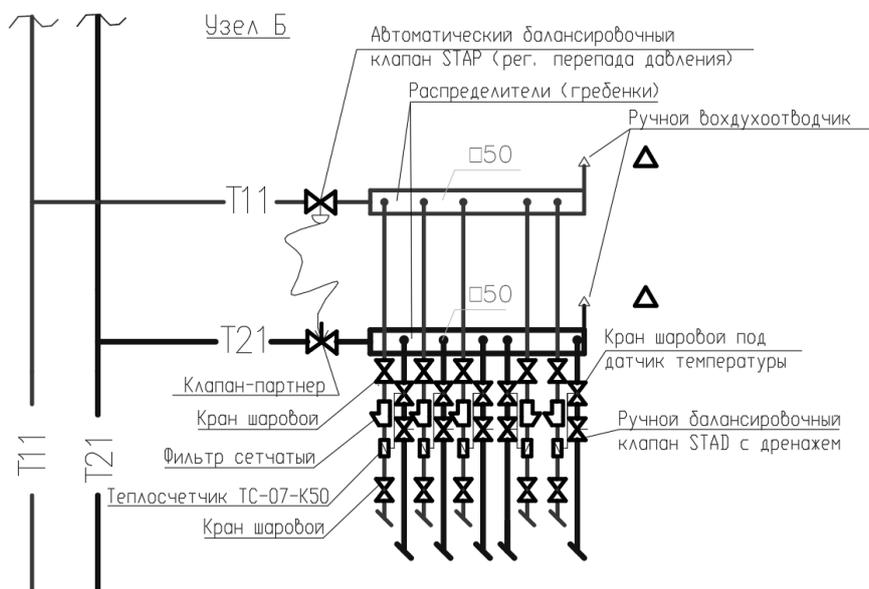


Рисунок 2 – Узел подключения поквартирных систем отопления для одной из секций

Определяем потери давления на трение на участках. Потери давления на балансировочных клапанах определяем по номограммам изготовителя или при известном значении пропускной способности элемента k_v по формуле

$$\Delta P = 0,1 \cdot \left(\frac{G}{k_v} \right)^2, \text{ Па}, \quad (2)$$

где G – расход воды на участке, кг/ч; k_v – пропускная способность (по каталогу изготовителя), м³/ч.

Все k_v приняты по данным производителей оборудования, марки которого взяты из проектных данных.

В главное циркуляционное кольцо рассматриваемой системы отопления входят потери в термостатическом клапане, ультразвуковом теплосчетчике, ручном балансировочном клапане, автоматическом балансировочном клапане и клапане-партнере. Местные сопротивления, сопротивления отопительного прибора, сопротивления остальных элементов в поквартирном узле и запорно-регулирующего клапана у радиатора учитываем в виде 20 % добавки к основным сопротивлениям.

Расчет для секции здания в осях 1–12

В качестве главного циркуляционного кольца принят отопительный прибор квартиры верхнего этажа с самой большей протяженностью трубопроводов – комната в осях А – Б, ось 1.

Расчетные тепловые потери комнаты – 1365 Вт, всех помещений квартиры – 5015 Вт. Настройка термостатического клапана рассматриваемого отопительного

прибора – 5, марка клапана – RA-N, диаметр – 15 мм. Настройка ручного балансировочного клапана квартиры – 1,4, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Настройка клапана-партнера в поквартирном узле – 3, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Марка автоматического балансировочного клапана – STAR, диаметр – 20 мм. Марка теплосчетчика – TC-07 к50, диаметр – 15 мм.

Результаты расчетов.

А. В соответствии с проектом

Сопrotивление главного циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 19,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 59 кг/ч, удельные потери давления – $R_{уд} = 36$ Па/м, скорость движения воды – 0,15 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 0,84 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 36 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 215 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 47$ Па/м, скорость движения воды – 0,24 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 2,03 кПа.

3. Сопrotивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

4. Сопrotивление ручного балансировочного клапана – 4,2 кПа.

5. Сопrotивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопrotивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 16,1 кПа.

7. Сопrotивления в магистральных стояках – 4,26 кПа (подача и обратка).

8. Сопrotивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопrotивления – 58,33 кПа.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопrotивление главного циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 14 мм, длина 19,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 59 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 85$ Па/м, скорость движения воды – 0,22 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 1,98 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 18 мм, длина 36 м (подача и обратка), расход теплоносителя 215 кг/ч - удельные потери давления $R_{уд} = 225$ Па/м, скорость движения воды – 0,47 м/с. Сопrotивление с учетом местных потерь – 9,72 кПа.

3. Сопrotивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

4. Сопrotивление ручного балансировочного клапана – 4,2 кПа.

5. Сопrotивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопrotивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 16,1 кПа.

7. Сопrotивления в магистральных стояках – 4,26 кПа (подача и обратка).

8. Сопrotивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопrotивления – 67,16 кПа.

Расчет для секции здания в осях 12–20

В качестве примера выполнен расчет для квартиры в осях 12–15 на верхнем этаже, кольцо принято через отопительный прибор комнаты в осях А – Б, ось 12.

Расчетные тепловые потери комнаты – 1115 Вт, всех помещений квартиры – 4470 Вт. Настройка термостатического клапана рассматриваемого отопительного прибора – 4, марка клапана – RA-N, диаметр – 15 мм. Настройка ручного балансировочного клапана квартиры – 1,1, марка клапана – STAD, диаметр – 20 мм. Настройка клапана-партнера в поквартирном узле – 3,4, марка клапана STAD, диаметр 20мм. Марка автоматического балансировочного клапана – STAP, диаметр – 20 мм. Марка теплосчетчика – ТС-07 к50, диаметр – 15 мм.

Результаты расчетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 17,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 49 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 26$ Па/м, скорость движения воды – 0,12 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 0,54 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 19 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 192 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 39$ Па/м, скорость движения воды – 0,21 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 0,89 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

4. Сопротивление ручного балансировочного клапана – 5,76 кПа.

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопротивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 13,1 кПа.

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,2 кПа (подача и обратка).

8. Сопротивление теплообменника – 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопротивления – 51,39 кПа.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление циркуляционного кольца.

1. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 16 мм, длина – 17,4 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 49 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 60$ Па/м, скорость движения воды – 0,21 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 1,25 кПа.

2. Трубопровод полиэтиленовый диаметром 25 мм, длина – 19 м (подача и обратка), расход теплоносителя – 192 кг/ч, удельные потери давления $R_{уд} = 186$ Па/м, скорость движения воды – 0,41 м/с. Сопротивление с учетом местных потерь – 4,24 кПа.

3. Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

4. Сопротивление ручного балансировочного клапана – 5,76 кПа.

5. Сопротивление теплосчетчика – 3,2 кПа.

6. Сопротивление ручного балансировочного клапана (клапана-партнера) и автоматического балансировочного клапана – 13,1 кПа.

7. Сопротивления в магистральных стояках – 4,2 кПа (подача и обратка).

8. Сопротивление теплообменника 20 кПа (проектные данные) и дополнительного оборудования теплового пункта (грязевик, 3 шаровых крана, обратный клапан) – до 5 кПа.

Суммарные сопротивления – 58,65 кПа.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы.

Для секции здания в осях 1–12 суммарные гидравлические сопротивления в системе отопления составляют 58,33 кПа для проектных диаметров трубопроводов в квартире (16 и 25 мм) и 67,16 кПа для фактических трубопроводов (14 и 18 мм). Потери давления в остальных частях системы левой секции здания (циркуляционных кольцах) равны либо менее указанных.

Для секции здания в осях 12–20 суммарные гидравлические сопротивления в системе отопления составляют 51,39 кПа для проектных диаметров трубопроводов в квартире (16 и 25 мм) и 58,65 кПа для фактических трубопроводов (14 и 18 мм). Потери давления в остальных частях системы правой секции здания (циркуляционных кольцах) равны либо менее указанных.

Для анализа функционирования системы отопления при максимальных расходах теплоносителя, рассмотрим параметры установленного в индивидуальном тепловом пункте насосного оборудования.

В качестве циркуляционного насоса в индивидуальном тепловом пункте применен насос Wilo Stratos D 65/1-12. Его характеристики показаны на рисунке 3.

Максимальный расчетный расход системы отопления здания составляет 14,2 м³/ч (проектные данные). Насос Wilo Stratos D 65/1-12 обеспечит циркуляцию такого расхода (при работе одного насоса в односкоростном режиме или энергосберегающем режиме), обеспечивая напор 8,5 м, то есть при сопротивлении системы 85 кПа, что выше максимального расчетного значения 67,16 кПа. Таким образом, установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов.

Также следует отметить, что фактически примененные диаметры трубопроводов в большей степени согласуются с рекомендациями производителей полимерных трубопроводов по параметрам оптимальной расчетной скорости движения воды и удельной потери давления на трение, чем проектные значения.

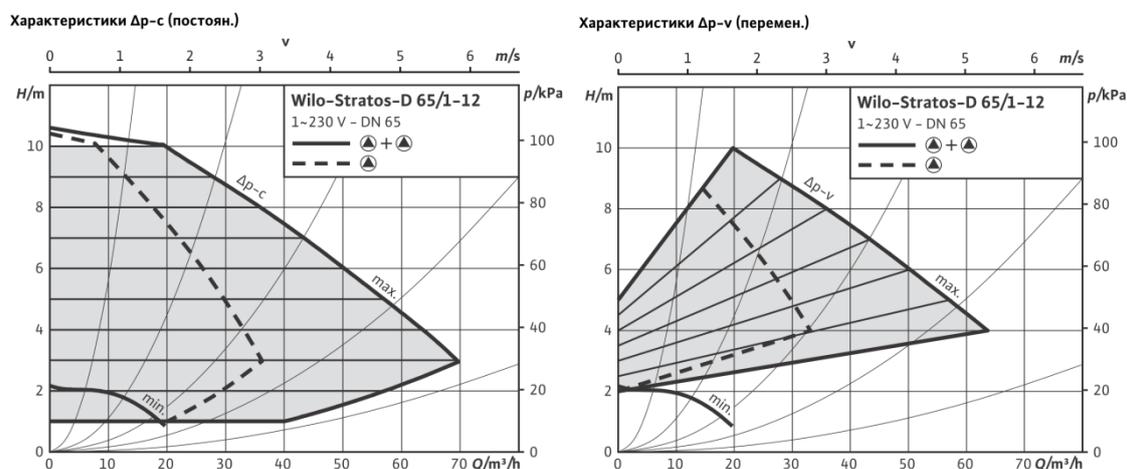


Рисунок 3 – Характеристики насоса Wilo Stratos D 65/1-12

Проверка внешних авторитетов термостатических клапанов

Следует отметить, что уменьшение диаметров трубопроводов приводит к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов.

Внешний авторитет термостатического клапана (авторитет в системе трубопроводов) – доля потерь давления на максимально открытом термостатическом клапане от располагаемого давления регулируемого участка системы водяного отопления. Участок системы отопления, на котором термостатический клапан осуществляет регулировку расхода теплоносителя, называют регулируемым. Он включает трубопроводы с отопительным прибором и арматурой. В системе отопления таким участком является либо вся система, либо ее часть, в которой автоматически поддерживается постоянный перепад давления [1].

Величина внешнего авторитета термостатического клапана определяется как отношение перепада давлений в термостатическом клапане к общему перепаду давлений в системе водяного отопления или в той части системы, в которой автоматически поддерживается заданный перепад давлений. Рекомендуется поддерживать значение авторитета на каждом клапане двухтрубной системы водяного отопления в интервале от 0,3 до 0,7 [1, 4, 5].

Выполним проверку внешних авторитетов термостатических клапанов.

Расчет для квартиры в секции здания в осях 1–12

Результаты расчетов авторитетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 12,97 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,2$.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление главного циркуляционного кольца.

Сопротивление термостатического клапана – 2,7 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 21,8 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,12$.

Расчет для квартиры в секции здания в осях 12–20

Результаты расчетов авторитетов.

А. В соответствии с проектом

Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 12,29 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,15$.

Б. Фактические диаметры трубопроводов

Сопротивление главного циркуляционного кольца.

Сопротивление термостатического клапана – 1,9 кПа.

Суммарные сопротивления поквартирной системы – 16,35 кПа.

Внешний авторитет термостатического клапана – $a = 0,116$.

Заключение

При монтаже системы водяного отопления рассматриваемого дома поквартирные ветви системы отопления были смонтированы полиэтиленовыми

трубопроводами диаметром $18 \times 2,5$ мм и 14×2 мм вместо проектных $25 \times 3,5$ мм и 16×2 мм. Расчеты показали, что установленного насоса достаточно для работы системы отопления с фактическими диаметрами трубопроводов.

Однако следует отметить, что уменьшение диаметров трубопроводов привело к увеличению гидравлических сопротивлений и, как следствие, уменьшению авторитетов термостатических клапанов. В рассматриваемом случае проектные значения авторитетов термостатических клапанов a составляли $0,15 \dots 0,2$ и не входили в рекомендуемый диапазон. В фактически смонтированной системе отопления авторитеты термостатических клапанов a снизились до значений $0,116 \dots 0,15$. Следствием уменьшения авторитетов является снижение эффективности регулирования системой отопления, то есть снижаются возможности по экономии тепловой энергии.

Список цитированных источников

1. Usikov, S. M. Sustainable consumption of thermal energy and optimum design of water heating system / S. M. Usikov // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – № 9 (2). – С. 755–764.

2. Navaseltsau, Uladzimir Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 896 (2020). – 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.

3. Navaseltsau, Uladzimir Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes / Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 896 (2020). – 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>.

4. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика / В. В. Пырков. – Киев : Такі справи, 2010. – 304 с.

5. Яушовец, Р. Гидравлика – сердце водяного отопления / Р. Яушовец. – Вена : HERZ Armaturen GmbH, 2005. – 143 с.

References

1. Sustainable consumption of thermal energy and optimum design of water heating system/ Usikov S.M. – International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, 9(2), s. 755-764.

2. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin– IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.

3. Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes/ Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>.

4. Pyrkov, V.V. Gidravlichesкое regulirovanie sistem otoplenija i ohlazhdenija. Teorija i praktika. – Kiev, izd. «Taki spravi», 2010. – 304 s.

5. Jaushovets, R. Gidravlika-serdce vodjanogo otoplenija. Izdanie kompanii HERZ Armaturen GmbH – Vena, 2005. – 143 s.

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Т. В. Папаскири, д. э. н., к. с.-х. н., профессор, врио ректора, Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия, e-mail: t_papaskiri@mail.ru

С. А. Липски, д. э. н., доцент, врио проректора по научной работе, Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия, e-mail: lipski-sa@yandex.ru

А. А. Рассказова, к. э. н., доцент кафедры кадастра недвижимости и землепользования, Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия, e-mail: annar78@mail.ru

А. В. Фаткулина, к. т. н., доцент кафедры аграрного и земельного права, и безопасности жизнедеятельности, Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия, e-mail: fatkulina_ecology@mail.ru

Реферат

В статье охарактеризованы особенности сельскохозяйственных регионов Республики Башкортостан. Проанализирована возможность использования земельного фонда данного региона, выявлены причины деградации земель сельскохозяйственного назначения. Авторами изучен опыт применения технологии No-till, ее преимущества и недостатки. Установлено, что повысить эффективность сельскохозяйственного землепользования можно при помощи технологии No-till. Определено, что в Республике Башкортостан данная технология имеет некоторые особенности ее применения, и от чего существенно зависит степень эффективность землепользования в сельском хозяйстве региона. Показана важность разработки и внедрения новых технологий земледелия для повышения эффективности сельскохозяйственного землепользования, основу которых составляет рентабельность, рациональное использование и охрана земельных ресурсов.

Ключевые слова: сельское хозяйство, землепользование, эрозия, деградация земель, технология No-till.

ANALYSIS OF THE PRACTICAL APPLICATION OF NO-TILL TECHNOLOGY IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

T. V. Papaskiri, S. A. Lipsky, A. A. Rasskazova, A. V. Fatkulina

Abstract

The article describes the features of agricultural regions of the Republic of Bashkortostan. The possibility of using the land fund of this region is analyzed, the causes of degradation of agricultural lands are identified. The authors studied the experience of using No-till technology, its advantages and disadvantages. It was found that the efficiency of agricultural land use can be increased using No-till technology. It was determined that in the Republic of Bashkortostan this technology has some features of its application, and what significantly determines the degree of efficiency of land use in agriculture in the region. The importance of developing and implementing new

farming technologies to improve the efficiency of agricultural land use, which are based on profitability, rational use and protection of land resources, is shown.

Keywords: agriculture, land use, erosion, land degradation, No-till technology.

Введение

Республика Башкортостан характеризуется определенными природно-климатическими особенностями. Рассматриваемые территории имеют разнообразные природные условия, и в свою очередь климат, рельеф, растительный и животный мир оказывают непосредственное влияние на формирование почв и состояние земельных ресурсов в целом. Необходимо также отметить, что территории данного региона присуща горизонтальная и вертикальная зональность (от степной до горно-таежной). Мероприятия по защите земель от деградации для их успешного внедрения необходимо выполнять с учетом особенностей условий Башкортостана.

Современное сельскохозяйственное производство должно развиваться в рамках устойчивого развития для сохранения и воспроизводства земель, т. к. они являются основой жизнедеятельности человека [1, 2]. Аграрное производство предусматривает рациональное и экономически обоснованное размещение на землях соответствующих видов деятельности. Для получения качественных и безопасных продуктов питания, в том числе и для обеспечения продовольственной безопасности, сельскохозяйственные культуры необходимо выращивать на незагрязненных территориях, и при этом минимизировать антропогенные воздействия на почвы, которые могут ухудшить земли [3, 4, 5]. Например, при консервации угодий рекомендуется использовать технические культуры.

Основная часть

При проведении исследований использовались такие методы, как абстрактно-логический, статистический, монографический и исторический. Применялись также методологические подходы: системный (позволяет максимально исследовать все аспекты изучаемых проблем, при этом учитывая их взаимосвязи и целостность) и концептуальный (при котором во внимание принимаются ранее выполненные фундаментальные и прикладные научные разработки в земледелии, преемственность и последовательность в исследованиях).

Авторами статьи проведен ряд исследований для условий Республики Башкортостан. На рисунке 1 показано распределение земельного фонда, общая площадь которого составляет 14294,7 тыс. га. В частности, в изучаемом регионе на земли сельскохозяйственного назначения приходится 7262,9 тыс. га.

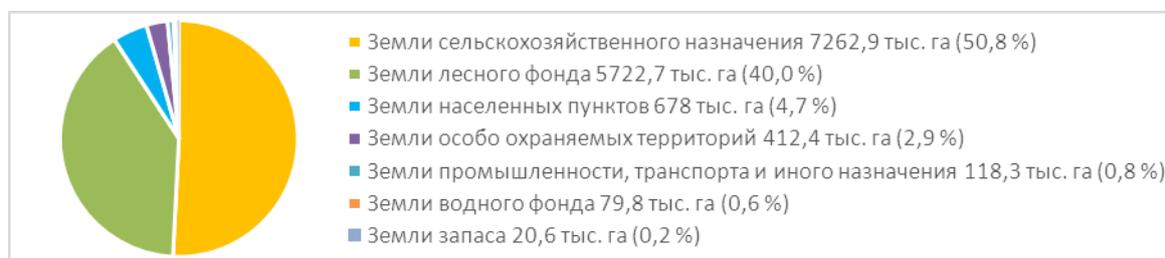


Рисунок 1 – Структура земельного фонда в Республике Башкортостан

Как показано на рисунке 2, площадь сельскохозяйственных угодий имеет наибольший удельный вес в структуре земель республики и составляет 7323 тыс. га.

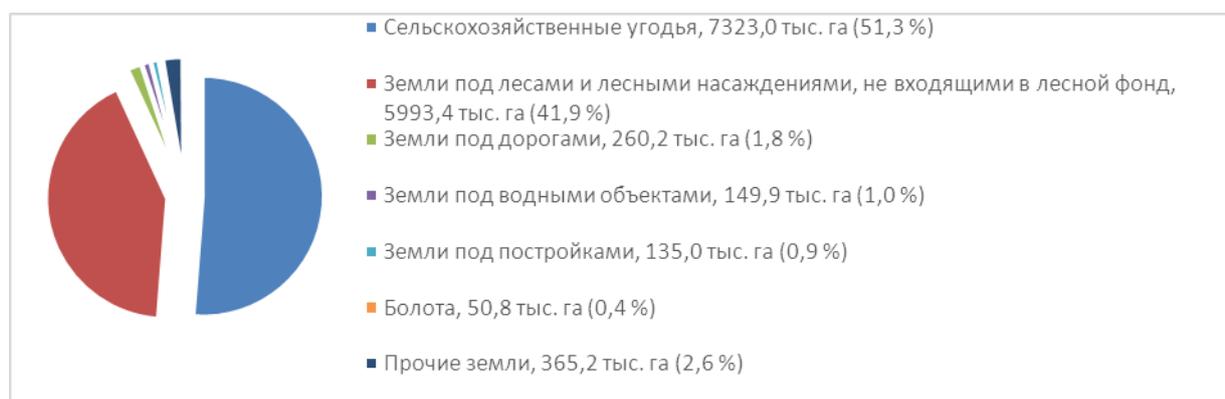


Рисунок 2 – Структура угодий в Республике Башкортостан

Земли сельскохозяйственного назначения на территории России, в том числе и рассматриваемого региона, характеризуются активными процессами деградации [6, 7, 8, 4, 9]. Например, по результатам обследований выявлено, что к актуальным проблемам для земель сельскохозяйственного назначения относятся ветровая и водная эрозия, и значительное ускорение этих процессов вызвано деятельностью человека (таблицы 1 и 2). На сегодняшний день в Республике Башкортостан около 5,6 млн га сельхозугодий являются эрозионно-опасными.

Таблица 1 – Субъекты с наибольшей долей сельскохозяйственных угодий, подверженных ветровой эрозии (дефляции)

№ п/п	Регион	Доля сельскохозяйственных угодий, подверженных ветровой эрозии, %
1	Республика Ингушетия	100,0
2	Карачаево-Черкесская Республика	100,0
3	Кабардино-Балкарская Республика	100,0
4	Республика Хакасия	78,3
5	Республика Башкортостан	36,4
6	Кемеровская область	34,7
7	Брянская область	30,4
8	Алтайский край	28,5
9	Астраханская область	26,7
10	Ростовская область	22,5
11	Саратовская область	21,0

Таблица 2 – Субъекты Российской Федерации с наибольшей долей угодий, подверженных водной эрозии

№ п/п	Регион	Доля сельскохозяйственных угодий, подверженных водной эрозии, %
1	Чувашская Республика	100,0
2	Республика Ингушетия	100,0
3	Карачаево-Черкесская Республика	97,35
4	Республика Марий Эл	81,80
5	Республика Хакасия	77,35
6	Саратовская область	66,69
7	Ростовская область	48,88
8	Белгородская область	38,08
9	Республика Башкортостан	36,43
10	Пермский край	34,88
11	Кировская область	31,72
12	Костромская область	25,74

В процессе проведения исследований установлено, что основной причиной, по которой снижается плодородие почв в регионе, является применение почво-разрушающих традиционных технологий [10]. Почвенный покров истощ, и денежные затраты не приносят ожидаемой прибыли. Ситуация усугубляется еще тем, что в Башкирии часто бывают засухи, почвы характеризуются недостаточным количеством питательных веществ, что, соответственно, снижает урожайность и приводит к убыткам в сельском хозяйстве [11, 12, 13]. Поэтому для информационной поддержки сельского хозяйства в 2019 г. была разработана и введена в эксплуатацию информационно-аналитическая система агропромышленного комплекса Республики Башкортостан.

Необходимо отметить, что качественное состояние сельскохозяйственных земель республики продолжает ухудшаться [14, 15]. Для устранения негативных агроэкологических последствий и повышения плодородия почв авторами статьи предлагается следующий комплекс мер:

1) экологическая оптимизация агросистем (важно, чтобы в их составе были лесные насаждения, пруды и водоемы, т. к. они регулируют климат, гидрологические и биохимические процессы);

2) изучение и разработка эффективных мер по воспроизводству и сохранению плодородия почв, предотвращению всех видов ее деградации на основе почвосберегающих систем земледелия;

3) разработка и внедрение рациональных систем севооборотов, возделывания почв, внесения удобрений, защиты растений и семеноводства сельскохозяйственных культур от вредителей, используя данные агроэкологической оценки плодородия почв и при этом учитывая динамику рыночного спроса;

4) освоение принципиально новых подходов к землепользованию, в результате чего должны сформироваться оптимальные агроландшафты.

На сегодняшний день к одной из принципиально новых, передовых, эффективных и хорошо зарекомендовавших себя агротехнологий относится No-till-технология [16, 17, 18]. С английского переводится как «нулевая, безпахотная обработка почвы». При применении в земледелии технологии No-till практически не проводится механическая обработка почвы, а поверхность земель покрывается измельченными остатками выращенных сельскохозяйственных культур. No-till включает в себя несколько составляющих: систему севооборотов, удобрения, защиту растений, эффективное использование земли, охрану почв и т. д.

Земледелие на основе No-till позволяет восстановить и сохранить плодородие почв, при этом увеличив урожайность и значительно снизив себестоимость получаемой продукции. Данная технология широко применяется в таких странах, как Аргентина, Бразилия, США и др.

Можно выделить следующие достоинства No-till-технологии:

– повышение экономической эффективности за счет снижения расходов на оплату труда, сельскохозяйственную технику и топливо;

– снижение антропогенного воздействия на окружающую среду (меньше выбросов отработавших газов и смазочных материалов, не так сильно уплотняется почва техникой и др.);

– замедление процессов ветровой и водной эрозии (плодородный слой почвы защищается стерней);

– снижается влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур на 60 %.

Но в то же время No-till-технология имеет некоторые недостатки – агрономический персонал должен иметь опыт и навыки в работе. Нежелательно применять нулевую обработку на плохо дренируемых почвах, так как может возникнуть переувлажнение пахотного слоя.

Над внедрением технологии No-till в Республике Башкортостан работали известные агрономы и специалисты, применяют ее уже достаточно продолжительное время. Сейчас данную технологию используют на территории около 350 тыс. га, в таких районах как Абзелиловский, Стерлитамакский, Куюргазинский, Кугарчинский, Давлекановский и других). Сельскохозяйственные предприятия получают стабильные урожаи с низкой себестоимостью. В процессе анализа и расчетов установлено, что прибыль с каждого гектара на 2,0–2,5 тыс. рублей больше.

Важным является то, что благодаря применению технологии No-till, в Республике Башкортостан обеспечивается сохранение влагообеспеченности почвенного покрова, а измельченные остатки растительности позволяют сократить испарение с поверхности почвы (сохранить дополнительно до 40–50 мм влаги). В результате повышается урожайность сельскохозяйственных культур.

При анализе опыта сельскохозяйственного предприятия ООО «СП Фрунзе» в Стерлитамакском районе, использующего современную технологию No-till, выявлены значения выхода продукции за три года (таблица 3). Следует учесть, что выход сельскохозяйственной продукции зависит от следующих факторов: погодных условий, уровня агротехники, организации труда, качества почвы, качества семян.

Таблица 3 – Выход продукции в ООО «СП Фрунзе», ц/га

Культура	Выход продукции в ц/га		
	2020 год	2021 год	2022год
зерно в первоначально оприходованной массе	34,0	25,0	35,7
зерно в массе после доработки (очистки и сушки)	32,3	23,8	34,4
сено	13,9	10,8	13,9
зеленая масса	210,4	180,0	656,5

Заключение

Большинство сельскохозяйственных угодий Башкортостана подвержены процессам деградации земель и снижения гумуса [19]. Применение технологии No-till окажет благоприятное влияние и на окружающую среду, и на эффективность землепользования (сохранение гумусового слоя, уменьшение водной и ветровой эрозии, снижение капитальных затрат и эксплуатационных расходов, повышение урожайности в засушливые годы, рост рентабельности сельскохозяйственного производства).

Современная No-till-технология позволяет рационально использовать земельные ресурсы. Однако необходимо учитывать особенности почв и не использовать такие технологии на плохо дренируемых почвах, так как это может привести к переувлажнению пахотного слоя и, следовательно, снижению его биологической активности [20].

Список цитированных источников

1. Ksenofontov, M. Y. Main Aspects of Regional Food Security in Russia / M. Y. Ksenofontov, D. A. Polzиков, Y. S. Melnikova // *Studies on Russian Economic Development*. – 2019. – Vol. 30, No. 4. – P. 39-3399. – DOI 10.1134/S1075700719040087.
2. Lerman, Z. Land policies and agricultural land markets in Russia. / Z. Lerman, N. Shagaida // *Land Use Policy*. – 2007. – No 24 (1). – P. 14–23. – DOI: 10.1016/j.landusepol.2006.02.001.
3. Варламов, А. А. Роль информационного обеспечения при определении эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения / А. А. Варламов, С. А. Гальченко, Р. В. Жданова, А. А. Рассказова [и др.] // *Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. материалов Междунар. науч.-практич. конф., 21–22 мая 2020 г., с. Соленое Займище, 2020. – С. 611–616.*
4. Варламов, А. А. Роль ресурсного потенциала для повышения эффективности сельскохозяйственного землепользования / А. А. Варламов, Н. В. Комов, С. А. Гальченко [и др.] // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2020. – № 4. – С. 5–7. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14061.
5. Komov, N. V. Russian land is the territory of the state and the most important wealth of people / N. V. Komov // *Economy and Ecology of Territorial Formations*. – 2019. – Vol. 3. – No. 1. – P. 6–14. – DOI: 10.23947/2413-1474-2019-3-1-6-14.
6. Вершинин, В. В. О состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения и мерах по его воспроизводству / В. В. Вершинин, С. А. Липски // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2017. – № 6. – С. 14–17.
7. Lipski, S. A. State and use of land resources in Russia: Trends of the current decade / S. A. Lipski // *Studies on Russian Economic Development*. – 2020. – No. 31 (4), P. 437–443. – DOI: 10.1134/S1075700720040103.
8. Папаскири, Т. В. Применение удобрений в сельском хозяйстве Испании: влияние на баланс питательных веществ и эмиссию парниковых газов / Т. В. Папаскири, С. В. Митрофанов, Н. В. Орлова [и др.] // *Агрехимический вестник*. – 2024. – № 1. – С. 79–87. – DOI: 10.24412/1029-2551-2024-1-014.
9. Volkov, S. N. The main directions of agricultural land use in the Russian Federation for the future: monograph / S. N. Volkov, V. N. Khlystun [et al.] – М. : GUZ, 2018. – P. 344.
10. Demyanova, A. D. Information support of management of the land resources of the Russian Federation / A. D. Demyanova, E.A. Schastlivetskaya, S. A. Lipski // *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 350 (1). – 012056.
11. Papaskiri, T. V. Maintaining the register of agricultural lands as a real step towards the implementation of the data management function for these lands by the state / T. V. Papaskiri, S. A. Lipski : *International Scientific and Practical Conference «Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions» (ETSA-IC2023)*. – 2023. – Vol. 395. – 04003. – (DOI: 10.1051/e3sconf/202339504003).
12. Prokopyeva, K. The Effect of Crop Rotation and Cultivation History on Predicted Carbon Sequestration in Soils of Two Experimental Fields in the Moscow Region, Russia / K. Prokopyeva, V. Romanenkov, N. Sidorenkova [et al.] // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – P. 226. – DOI 10.3390/agronomy11020226.
13. Polunin, G., Alakoz V., Cherkashin K. (2019). Regional land use by farms of the Russian Federation / G. Polunin, V. Alakoz, K. Cherkashin // *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. – 2019. – P. 012017. – DOI: 10.1088/1755-1315/274/1/012017.
14. Erokhin, Vasilii *Handbook of Research on Globalized Agricultural Trade and New Challenges for Food Security* / Vasilii Erokhin, Tianming Gao // Harbin Engineering University, China – published in the IGI Global book series. *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT)*. – 2020. – IGI Global. – DOI: 10.4018/978-1-7998-1042-1.
15. Prishchepov, A. V. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. / A. V. Prishchepov, D. Muller, M. Dubinin [et al.] // *Land Use Policy*. – 2013. – No. 30 (1). – P. 873–884. – DOI: 10.14530/se.2013.3.030-062.
16. Власенко, А. Н. Эффективность No-Till технологии на черноземных почвах северной лесостепи Западной Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко, П. И. Кудашкин // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2021. – № S5 (14). – С. 4–13. – DOI 10.25930/2687-1254/001.5.14.2021.

17. Chekaev, N. The economic efficiency of the No-till technology by the example of spring wheat / N. Chekaev, A. Kuznetsov // *Russian Agricultural Economic Review*. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – P. 9–104. – DOI 10.18334/raer.2.2.510.

18. Motorin, S. The Cultivation of sorghum in No-Till technology / S. Motorin // *Agronomist*. – 2013 – URL: <http://www.agrosoyuz.com/articles/detail.php?ID=219> (дата обращения: 24.10.2024).

19. Serova, E. V. Sustainable agriculture: why we are concerned today / E. V. Serova // *Russian Journal of Economics*. – 2022. – Vol. 8. – No 1. – P. 1–6. – DOI: 10.32609/j.ruje.8.84133.

20. Батыкова, А. Ж. Геоинформационные технологии в мониторинге и использовании земельных ресурсов. / А. Ж. Батыкова, О. В. Богданова, В. А. Бударова [и др.]. – Пенза : Пензенский гос. ун-тет архитектуры и строительства. – 2019. – 156 с.

References

1. Ksenofontov, M. Y. Main Aspects of Regional Food Security in Russia / M. Y. Ksenofontov, D. A. Polzиков, Y. S. Melnikova // *Studies on Russian Economic Development*. – 2019. – Vol. 30, No. 4. – P. 393-399. – DOI 10.1134/S1075700719040087.

2. Lerman Z., Shagaida N. (2007). Land policies and agricultural land markets in Russia. // *Land Use Policy*. No 24(1). pp. 14-23. (DOI:10.1016/j.landusepol.2006.02.001).

3. Varlamov, A. A. Rol' informacionnogo obespecheniya pri opredelenii effektivnosti ispol'zovaniya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya/ A. A. Varlamov, S. A. Gal'chenko i dr. V sbornike: Itogi i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. s. Solenoe Zajmishche, 2020. S. 611-616.

4. Rol' resursnogo potentsiala dlya povysheniya effektivnosti sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya / A. A. Varlamov, N. V. Komov, S. A. Gal'chenko [i dr.] // *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal*. - 2020. - № 4. - S. 5-7. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14061 EDN: LXAZTN.

5. Komov, N. V. (2019) Russian land is the territory of the state and the most important wealth of people. // *Economy and Ecology of Territorial Formations*. T. 3. № 1. P. 6-14. (DOI:10.23947/2413-1474-2019-3-1-6-14).

6. Vershinin, V. V. O sostoyanii plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya i merah po ego vosproizvodstvu / V. V. Vershinin, S. A. Lipski // *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal*. – 2017. – № 6. – S. 14-17. – EDN ZTUOIX.

7. Lipski, S. A. (2020). State and use of land resources in Russia: Trends of the current decade. *Studies on Russian Economic Development*, 31(4), 437-443. DOI: 10.1134/S1075700720040103.

8. Papaskiri, T. V. Primenenie udobrenij v sel'skom hozyajstve Ispanii: vliyanie na balans pitatel'nyh veshchestv i emissiyu parnikovyh gazov / T. V. Papaskiri, S. V. Mitrofanov, N. V. Orlova [i dr.] // *Agrohimicheskij vestnik*. – 2024. – № 1. – S. 79-87. – DOI 10.24412/1029-2551-2024-1-014. – EDN IUSOYJ.

9. S. N. Volkov, V. N. Khlystun, et al. The main directions of agricultural land use in the Russian Federation for the future: monograph, 344 (M. State University of Land Management, 2018).

10. Demyanova, A. D., Schastlivetskaya, E. A., Lipski, S. A. (2019) Information support of management of the land resources of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 350(1), 012056.

11. Papaskiri T. V., Lipski S. A. (2023) Maintaining the register of agricultural lands as a real step towards the implementation of the data management function for these lands by the state. *International Scientific and Practical Conference «Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions» (ETSA-IC2023) Volume 395, 2023. 04003 (DOI:10.1051/e3sconf/202339504003).*

12. The Effect of Crop Rotation and Cultivation History on Predicted Carbon Sequestration in Soils of Two Experimental Fields in the Moscow Region, Russia / K. Prokopyeva, V. Romanenkov, N. Sidorenkova [et al.] // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – P. 226. – DOI 10.3390/agronomy11020226. – EDN DMJUSN.

13. Polunin G., Alakoz V., Cherkashin K. (2019). Regional land use by farms of the Russian Federation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. C. 012017. (DOI:10.1088/1755-1315/274/1/012017).

14. Handbook of Research on Globalized Agricultural Trade and New Challenges for Food Security / Vasilii Erokhin, Tianming Gao / Harbin Engineering University, China – published in the IGI Global book series. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) (DOI: 10.4018/978-1-7998-1042-1).

15. Prishchepov A. V., Muller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V. C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. // Land Use Policy, 2013, No. 30(1). pp. 873-884. (DOI:10.14530/se.2013.3.030-062).

16. Vlasenko, A. N. Effektivnost' No-Till tekhnologii na chernozemnyh pochvah severnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri / A. N. Vlasenko, N. G. Vlasenko, P. I. Kudashkin // Sel'skohozyajstvennyj zhurnal. – 2021. – № S5(14). – С. 4-13. – DOI 10.25930/2687-1254/001.5.14.2021. – EDN PUXSAC.

17. Chekaev, N. The economic efficiency of the No-till technology by the example of spring wheat / N. Chekaev, A. Kuznetsov // Russian Agricultural Economic Review. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – P. 95-104. – DOI 10.18334/raer.2.2.510. – EDN UJIQBF.

18. Motorin S. (2013) The Cultivation of sorghum in No-Till technology. Agronomist.08.05.2013 <http://www.agrosoyuz.com/articles/detail.php?ID=219>

19. Serova E. V. (2022) Sustainable agriculture: why we are concerned today. Russian Journal of Economics. T. 8. № 1. P. 1-6. (DOI: 10.32609/j.ruje.8.84133).

20. Geoinformacionnye tekhnologii v monitoringe i ispol'zovanii zemel'nyh resursov. / Baty-kova A.ZH. i dr. – Penza, Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva 2019. – 156 s.

УДК 662.7, 628.4

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ: НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ

*А. Н. Пехота, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: pehota.an@bntu.by*

*Б. М. Хрусталеv, академик НАН Беларуси, д. т. н., профессор,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: tgv_fes@bntu.by*

*В. П. Голубев, к. б. н., РНПУП «Институт энергетики Национальной
академии наук Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: vrgolubev@mail.ru*

*Р. Н. Вострова, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения,
химии и экологии, Белорусский государственный университет транспорта,
Гомель, Беларусь, e-mail: vostrova@tut.by*

*Д. А. Згурский начальник главного управления жилищно-коммунального
хозяйства Гомельского облисполкома, Гомель, Беларусь*

Реферат

Рассмотрены основные направления комплексного использования горючих отходов, способствующие реализации национальной стратегий устойчивого развития республики, с учетом вопросов обеспечения, энерго- и ресурсосбережения, рационального использования вторичных материальных ресурсов.

Сделан анализ использования горючих отходов различных производств и коммунального хозяйства с возможностью их применения в качестве альтернативного источника энергии. Проанализированы технологические особенности получения и сжигания топливных брикетов с применением многокомпонентных составов горючих отходов различных производств. Представлена комплексная оценка результатов исследования с использованием математических методов расчета и моделирования, позволяющих оптимизировать параметры составов многокомпонентного топлива с учетом необходимых теплоэнергетических показателей и экологических требований, предъявляемых к сжиганию топлив с использованием отходов.

Ключевые слова: многокомпонентное топливо, твердое топливо, малоотходные технологии, горючие отходы, ТКО, древесные отходы, безотходное производство, выбросы вредных веществ, модульное сжигание топлива.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCE: SOME RESULTS OF THE INTEGRATED USE OF COMBUSTIBLE WASTE

A. N. Pekhota, B. M. Khrustalev, V. P. Golubev, R. N. Vostrova, D. A. Zgursky

Abstract

The main directions of the integrated use of combustible waste are considered, contributing to the implementation of the national strategies for sustainable development of the republic, taking into account the issues of ensuring energy and resource conservation and rational use of secondary material resources. The analysis of the use of combustible waste from various industries and utilities, with the possibility of their use as an alternative energy source, is presented. The technological features of the production and combustion of fuel briquettes using multicomponent compositions of combustible waste from various industries are analyzed. A comprehensive assessment of the results of the study is presented using mathematical calculation and modeling methods that allow optimizing the parameters of multicomponent fuel compositions, taking into account the necessary thermal and energy indicators and environmental requirements for burning fuels using waste.

Keywords: multicomponent fuel, solid fuel, low-waste technologies, combustible waste, MSW, wood waste, waste-free production, emissions of harmful substances, modular fuel combustion.

Введение

Одной из основных целей в области энергосбережения является получение максимально возможного количества энергии с помощью возобновляемых источников энергии, использования местных видов топлива и вторичных ресурсов. При этом целесообразностью вовлечения этих ресурсов является экономическая и экологическая составляющая.

При решении вопросов перевода энергетических установок на альтернативные источники энергии возникает проблема обеспечения их стабильной сырьевой топливной базой на десятилетия, так как вводимые энергоустановки зачастую ориентированы только на традиционные виды топлива (торф, дрова) и

новые твердые биотоплива – щепу, гранулы и брикеты. Поскольку денежные средства на возведение энергоустановок в нашей республике тратятся немалые, а запасы древесного топлива на близлежащих от энергоустановок территориях со временем будут уменьшаться, необходимо иметь резервные источники твердого топлива, что требует разработки перспективных технологий получения альтернативных видов топлива из региональных отходов и его энергетически и экологически эффективного сжигания.

Разработанная и усовершенствованная технология многокомпонентного брикетирования горючих отходов различных производств и коммунального хозяйства, позволяет использовать различные некондиционные отходы, образующиеся в регионах, а разработанный комплекс оборудования по термической утилизации отходов обеспечивает экологически безопасное сжигание многокомпонентных составов альтернативных видов топлива.

Основная часть

Государственная программа «Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года» безусловно дает положительные результаты в решении вопросов, связанных со сбором и переработкой отходов. Однако для ряда отходов, как накопленных, так и образующихся, нет доступных технологий, позволяющих в полной мере превратить их в доходно-компенсационную часть своей деятельности [1, 2].

Среди таких отходов особое место занимают горючие преимущественно по составу -органические отходы в виде: отходов от переработки макулатуры (ОПМ), осадка сточных вод очистных сооружений, образующегося в результате очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод (ОСВ), осадок очистных сооружений механической очистки сточных вод от производства бумаги и картона (скоп) и т. п. В свою очередь, как показали проведенные исследования, эти осадки являются энергетически насыщенными горючими отходами, состоящими из органических (от 70 до 98 %) и минеральных (от 2 до 30 %) веществ, выделяемых из воды в результате механической, биологической и физико-химической очистки [3, 4]. В настоящее время ОСВ, в основном, складировается на отведенных территориях и очистных сооружениях, а ОПМ и скоп вывозятся на утилизацию на местные полигоны, что отражается на увеличении себестоимости получаемой продукции.

Таким образом, все более актуальным для производственных и коммунальных предприятий становится вопрос выбора технологий переработки образующихся отходов, позволяющей эффективно гарантировать использование отходов в соответствии с объемами их образования в процессе производства. То есть, технологии должны обеспечить отсутствие необходимости захоронения образующихся отходов на полигонах, что соответствует современным тенденциям государственной политики нашей страны и госпрограмм, связанным с переработкой отходов [1–4].

Традиционные способы использованию, например ОСВ в качестве топлива, с применением традиционных технологий сухого брикетирования нецелесообразны из-за их высокой влажности. Для ОСВ остаточная влажность составляет 70–95 %. Но и захоронение их на полигонах тоже нельзя считать разумным решением данной проблемы. Очевидно, что для таких отходов необходимо разра-

ботать специальные технологии, позволяющие использовать их в качестве местного вида топлива и возобновляемого альтернативного энергетического ресурса. Проводимые в течение двадцати лет исследования позволили разработать и научно обосновать принципы подбора многокомпонентного состава и технологию производства альтернативного твердого топлива (MSF-топливо). В 2005 году осуществлено опытно-промышленное внедрение двухкомпонентных составов твердого топлива.

Разработанная технология позволяет получать твердое топливо с использованием образующихся на предприятиях различных отраслей экономики и в коммунальном хозяйстве отходов [5]. Пригодные для применения горючие отходы, несмотря на разнообразие процессов их образования, подбираются с учетом содержания углеводородсодержащей части, которая и обеспечивает возможность применения их в качестве топливных элементов. В связи с этим, применение малоиспользуемых горючих отходов требует выполнения определенного регламента последовательности технологических операций подготовки с учетом требований разработанного технологического оборудования и реологиче-ских свойств поступающих на переработку отходов. Отходы и их смеси, поступающие на переработку в качестве сырья для топлива, системно подбираются в соответствии с представленной на рисунке 1 принципиальной схемой подбора компонентов и технологической последовательности операций, обеспечивающих создание MSF-топливо [6].

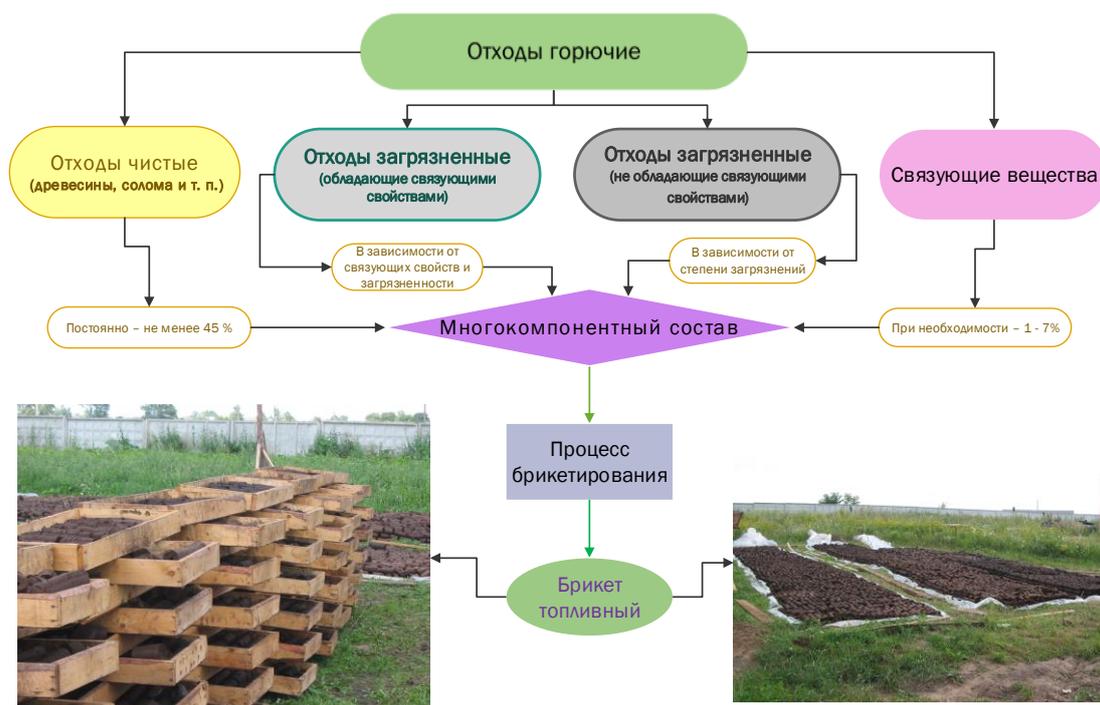


Рисунок 1 – Основные принципы подбора компонентов и технологическая последовательность операций, обеспечивающих создание MSF-топливо

В основу научных исследований положено изменение традиционных подходов к брикетированию и совершенствование технологических схем и процессов производства твердого топлива.

Созданное оборудование и технология производства многокомпонентного твердого топлива (англ. multicomponent solid fuel – MSF) [5, 6], позволяет

получать твердое топливо с использованием образующихся на предприятиях различных горючих отходов. Многокомпонентные составы подбираются с учетом свойств и характеристик используемых горючих отходов, образующихся на предприятии, а также с учетом перспективного и долгосрочного применения иных видов горючих отходов, имеющих в экономически выгодной транспортной доступности. Брикетирование осуществляется с применением разработанной технологии минимально-влажного брикетирования многокомпонентной смеси, на установках шнекового, гидравлического и валкового формования (рисунок 2).

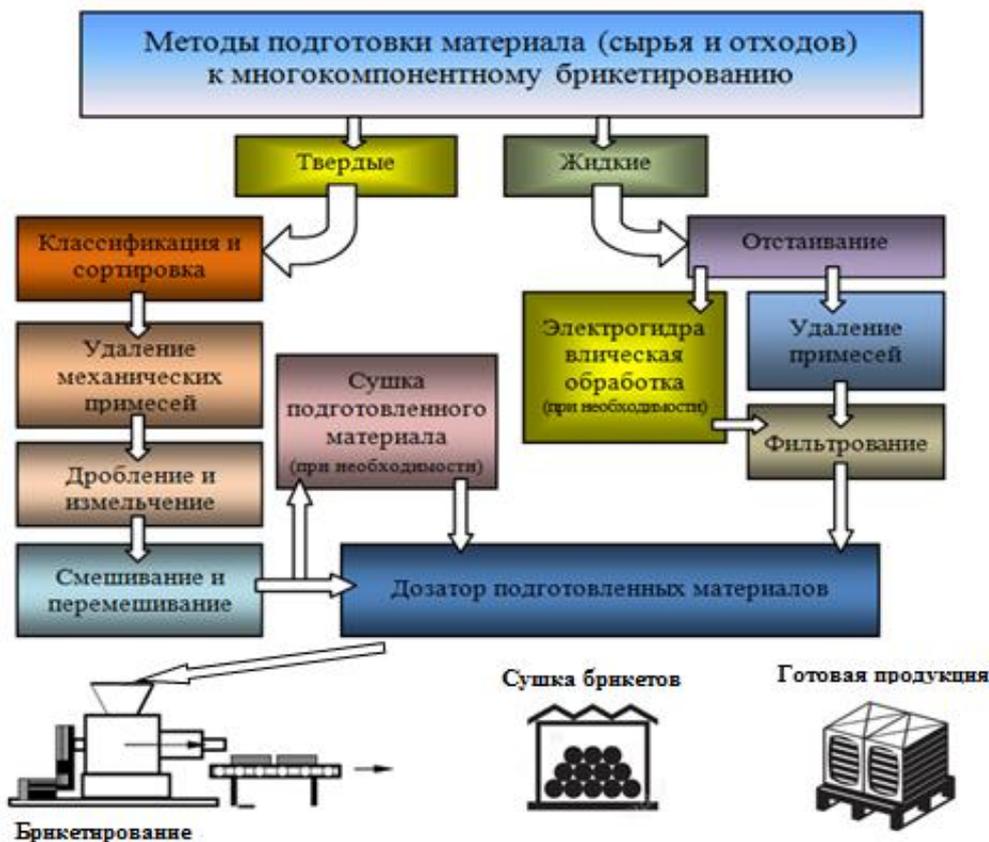


Рисунок 2 – Схема работы технологической установки брикетирования горючих отходов для получения альтернативных топливных элементов

Вычисление с последующим подбором оптимальных соотношений многокомпонентных составов топлива производится с применением средств автоматизации математических расчетов MathCAD и MatLab, а также с использованием современных математических инструментов в виде программы STATISTICA 7, с использованием разработанной имитационной модели технологического процесса создания альтернативных топливных элементов. Комплексное применение данного набора математических инструментов позволяет, получать и обрабатывать результаты моделирования с учетом разработанной структуры технологического процесса, а также их взаимодействия при создании многокомпонентных смесей.

Важным элементом любого исследования является проведение эксперимента, что в целом является основным и наиболее совершенным методом изучения исследуемого объекта или процесса. Ранее авторами исследовались в основном

двухкомпонентные составы [3, 6, 17–19], что позволило на практике определить оптимальные параметры времени брикетирования брикета P с учетом различных факторов, влияющих на производительность.

В основу дальнейших научных экспериментов положено определение факторов зависимости оптимальной производительности и плотности при различных процентных содержаниях формуемой смеси, состоящей из осадков сточных вод a , древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c при массовой влажности смеси в пределах 38–67 %.

В ходе проведения экспериментов и математической обработки полученных данных получено уравнение регрессии, определяющее зависимость плотности брикета, как одного из показателей качества формования, от содержания в формуемой смеси осадков сточных вод, древесных отходов и отходов нефтепродуктов.

$$y_2(x_1, x_2, x_3) = 0,9075 + 0,0278 x_1 + 0,0311 x_2 + 0,0005 x_3 - 0,0293 x_1^2 - 0,0125 x_2^2 - 0,0226 x_3^2 + 0,0333 x_1 x_2 + 0,0071 x_1 x_3 - 0,0167 x_2 x_3 \quad (1)$$

Модель является адекватной при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$, так как $3,064 \leq F_{кр} = 5,05$.

Перейдем в этой формуле от безразмерных факторов x_1 , x_2 и x_3 к размерным a , z и c , получим математическую модель показателя плотности брикета

$$U(a, z, c) = -0,733998 + 0,020828 a + 0,005013 z + 0,160819 c - 0,000598 a^2 - 0,000346 z^2 - 0,022572 c^2 + 0,000794 az + 0,001020 ac - 0,002778 zc. \quad (2)$$

По результатам проведенного анализа качественных показателей и полученных данных эксперимента представлены графические зависимости для определения оптимального соотношения компонентов с учетом минимальной влажности при оптимальной производительности брикетирования и плотности.

На рисунках 3–5 представлены зависимости плотности брикета U от процентного содержания в формуемой смеси осадков сточных вод a , древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c в виде поверхностей в трехмерной системе координат.

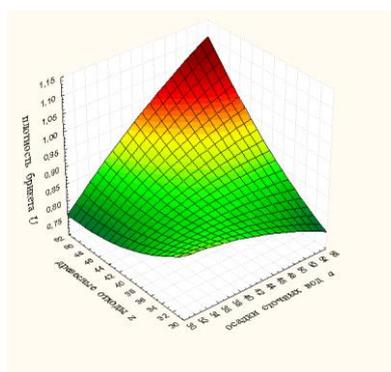


Рисунок 3 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания осадков сточных вод a и древесных отходов z

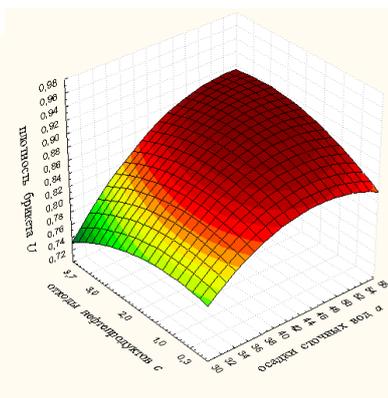


Рисунок 4 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания осадков сточных вод a и отходов нефтепродуктов c

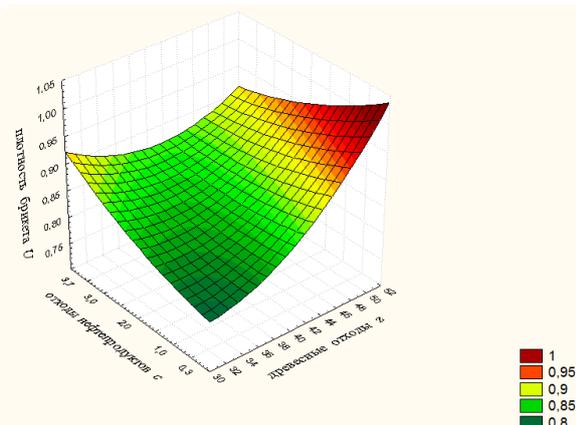


Рисунок 5 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c

Сравнительный термический анализ многокомпонентного твердого топлива показал, что сжигание ОСВ в смеси с древесными отходами позволяет в значительной степени улучшать показатели до нормируемых в ГОСТах и СТБ, действующих на твердые виды топлива, которые, например, по содержанию серы не должны превышать 1 %, а по зольности – 23 %. Технические решения и принципы созданы, относящиеся к получению многокомпонентных составов, запатентованы в Республике Беларусь и находятся в стадии регистрации интеллектуальной собственности на территории всех государств – участников евразийской патентной конвенции [12–15].

Как отмечалось выше, в настоящее время основной технологией использования горючих отходов для получения тепловой энергии является их сжигание. При этом для сжигания как твердых коммунальных отходов, так и горючих производственных отходов в основном используют 3 способа:

- слоевое сжигание неподготовленных отходов, например, в специализированных мусоросжигательных установках или котлах-утилизаторах;
- слоевое и камерное сжигание в топках энергетических котлов или цементных печах, специально подготовленных отходов в виде брикетированного или гранулированного топлива, которое предварительно освобождено от балластных составляющих и имеет постоянный фракционный состав;
- пиролизное сжигание горючих отходов, прошедших предварительную подготовку или прямое сжигание без подготовки.

Таким образом, разработанное альтернативное многокомпонентное брикетированное твердое топливо [5, 9–11, 16–19] по теплотехническим свойствам, зольности, содержанию серы и другим контролируемым экологическим параметрам удовлетворяет действующие нормативы, а его применение, как правило, не требует дополнительного переоборудования слоевых топливо-сжигающих установок, работающих на традиционных твердых видах топлива, мощностью от 0,01 до 4,5 МВт [6–11].

Заключение

Комплексный подход, проведенные научные исследования, математическое моделирование с получением уравнений регрессии, факторный анализ и накопленный практический опыт подбора многокомпонентных составов, а также комбинированная обработка полученных результатов позволяют определять оптимальное соотношение различных горючих компонентов в составе топлива. При этом теплотехнические характеристики и выбросы вредных веществ взаимно скоррелированы и соответствуют техническим характеристикам применяемого на предприятии топливосжигающего оборудования, а также действующим требованиям, предъявляемым к концентрации выбросов вредных веществ при сжигании традиционных видов твердого топлива.

Оценка результатов исследования изучаемых коммунальных отходов показала, что ОСВ обладает значительными показателями энергоэффективности в качестве альтернативного источника энергии относительно других традиционных энергоресурсов.

Практическая применимость MSF-топлива показала, что оно должным образом используется в целях обеспечения нужд мелких и средних потребителей, например, в летне-осенний период для генерации сушильного агента при подготовке зерна, сушильных установках предприятий деревообработки, в сушильных теплогенераторах технологического процесса различных производств,

на локальных котельных (в том числе паровых, с производительностью пара 0,4–1,5 т/ч), в сушильных установках песка локомотивных депо, теплогенерирующих установках ангаров и мастерских, а также в иных устройствах работающих на твердом топливе.

Список цитированных источников

1. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г. № 271-3 ; в ред. от 29 дек. 2023 г. № 333-3 // Нац реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007. – № 183. – 2/1368.

2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : утв. постанов. Совета Министров Респ. Беларусь, 28 июля 2017 г., № 567 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2017. – № 567. – 5/44015.

3. Пехота, А. Н. Исследование теплотехнических свойств брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений/ А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова, В. Н. Грибанов // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы II-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск : Институт ЖКХ НАН Беларуси, 2020. – Т. 2. – С. 99–108.

4. Ануфриев, В. Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2017. – № 5. – С. 84–95.

5. Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия : ТУ ВУ 490319372.001–2005. – Введ. 18.04.2005 с изв. № 1 и № 2 об изменении технических условий. – Минск : Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Респ. Беларусь. – 2005. – 8 с.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо : монография / А. Н. Пехота; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь; Бел. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.

7. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энерго-ресурсов / А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву [и др.]. // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.

8. Пехота, А. Н. Определение эффективности параметров брикетирования и сушки многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv // Энергетическая Стратегия. – 2022. – № 2. – С. 34–38.

9. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, Минь Фап Ву, [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64 – № 6. – С. 525–537.

10. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65. – № 2. – С. 143–155.

11. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота// Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

12. Патент ВУ 18408, МПК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36. Способ получения топлива твердого многокомпонентного: № а 20120656; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 174.

13. Патент ВУ 18463, МПК С 10 L 5/04, С 10 L 5/48. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: № а 20120655; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 207.

14. Патент ВУ 18130, МПК С 10 L 5/44, С 10 L 5/48. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: № а 20120676; заявл. 30.04.2012; опубл. 30.04.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – С. 124.

14. Патент ВУ 24243. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного на основе осадков городских сточных вод : № а 20210296; заявл. 20.10.2021; опубл. 15.03.2024 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2024. – № 2.

16. Карпович, В. А. Высокотемпературная резонансно-микроволновая установка для обезвреживания медицинских отходов / В. А. Карпович, В. П. Голубев, В. В. Сенчук [и др.] // Экологический вестник России. – 2014. – №. 9. – С. 39–41.

17. Вострова, Р. Н. Возврат осадка сточных вод в народнохозяйственный оборот / Р. Н. Вострова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. ; ред. кол. Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С.41–44.

18. Вострова, Р. Н. Проблемы использования нетрадиционных видов топлива / Р. Н. Вострова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. ; ред. кол. Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С.39–41.

19. Пехота, А. Н. Эффективные способ термической утилизации горючих отходов различных производств / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv, В. П. Голубев, А. А. Бойко // Энергоэффективность. – 2024. – № 6. – С. 20–26.

References

1. Ob obrashhenii s othodami: Zakon Resp. Belarus' ot 20 ijulja 2007 g. № 271-Z (ot 8 ijulja 2008 g. № 367-3 (s izm. i dop. ot 28 dekabrja 2009 g. № 93-3, ot 22 dekabrja 2011 g. № 328-3, ot 7 janvarja 2012 g. № 340-3, ot 12 dekabrja 2012 g. № 6-3, ot 4 janvarja 2014 g. № 130-3) // Nac reestr pravovyh aktov, 2007. – № 183. – 2/1368.

2. Nacional'naja strategija po obrashheniju s tverdymi kommunal'nymi othodami i vtorichnymi material'nymi resursami v Respublike Belarus' na period do 2035 goda : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 28.07.2017 g., № 567 // Nac. reestr pravovyh aktov Resp. Belarus'. – 2017. – № 567. – 5/44017.

3. Pehota, A. N. Issledovanie teplotehnicheskikh svojstv briketov na osnove osadkov stochnyh vod gorodskih ochistnyh sooruzhenij/ A. N. Pehota, R. N. Vostrova, V. N. Gribanov // Nauchno-tehnicheskij progress v zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve : materialy II-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. : v 2 t. – Minsk : Institut ZhKH NAN Belarusi, 2020. – T. 2. – S. 99-108.

4. Anufriev, V. N. Tehnologii obrabotki osadkov stochnyh vod / V. N. Anufriev // Jekologija na predpriyatii. - 2017. - № 5. - S. 84-95.

5. Toplivo tverdoe mnogokomponentnoe. Tehnicheskie uslovija: TU BY 490319372.001–2005. – Vved. 18.04.2005 s Izveshheniem № 1 i 2 ob izmenenii tehnicheskikh uslovij. – Minsk : Komitet po standartizacii, metrologii i sertifikacii pri Sovete Ministrov Respubliki Belarus', reg. nomer 019066 ot 18.04.2005. – 8 s.

6. Pehota, A. N. Mnogokomponentnoe tverdoe toplivo : [monografija] / A. N. Pehota ; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2021.– 243 s.

7. Pehota, A. N. Tverdoe toplivo na osnove othodov maloispolzueмых gorjuchih jenergoresursov /A. N. Pehota, Nga Thu Nguen, Fap Min' Vu i [dr.]. // Nauka i tehnika. – 2021. – № 1. – S. 58–65.

8. Pehota, A. N. Opredelenie jeffektivnosti parametrov briketirovanija i sushki mnogokomponentnyh sostavov tverdogo topliva / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev // Jenergeticheskaja Strategija : nauch.-prakt. zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 34–38.

9. Pehota, A. N. Tehnologija proizvodstva mnogokomponentnogo tverdogo topliva s ispol'zovaniem othodov stochnyh vod / A. N. Pehota, B. N. Hrustalev, Min' Fap Vu, V. N. Romanjuk, E. A. Pehota, R. N. Vostrova, Thu Nga Nguen // Jenergetika. Izv. vyssh. uceb. zavedenij i jenerg. ob#edinenij SNG. – 2021. – T. 64, № 6. – S. 525-537.

10. Pehota, A. N. Issledovanie termoanaliticheskimi metodami jenergeticheskikh svojstv briketirovannogo mnogokomponentnogo topliva / A. N. Pehota, S. A. Filatov // Jenergetika. Izv. vyssh. uceb. zavedenij i jenerg. ob#edinenij SNG. – 2022. – T. 65, № 2. – S. 143–155.

11. Pehota, A. N. Issledovanie jenergeticheskikh harakteristik mnogokomponentnogo tverdogo topliva s ispol'zovaniem nekondicionnyh gorjuchih kommunal'nyh i proizvodstvennyh othodov / A. N. Pehota// Nauka i tehnika. – 2022. – № 2. – S. 164–174.

12. Sposob poluchenija topliva tverdogo mnogokomponentnogo: pat. 18408 Resp. Belarus', MPK C 10 L 5/48, C 10 L 5/06, C 10 L 5/36 / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev; zajavitel' Pehota Aleksandr Nikolaevich; Hrustalev Boris Mihajlovich (BY), № a 20120656; zajavl. 25.04.2012; opubl. 30.08.2014. Aficyjny bjul. Nac. Cjentr intjelektual. ulasnasci. 2014. № 3. S. 174.

13. Sostav dlja briketirovanija topliva mnogokomponentnogo: pat. 18463 Resp. Belarus' MPK C 10 L 5/04, C 10 L 5/48 / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev; zajavitel' Pehota Aleksandr Nikolaevich; Hrustalev Boris Mihajlovich (BY), № a 20120655; zajavl. 25.04.2012; opubl. 30.08.2014. Aficyjny bjul. Nac. Cjentr intjelektual. ulasnasci. 2014. № 3. S. 207.

14. Sostav dlja briketirovanija topliva mnogokomponentnogo: pat. 18130 Resp. Belarus' MPK C 10 L 5/44, C 10 L 5/48 / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev; zajavitel' Pehota Aleksandr Nikolaevich; Hrustalev Boris Mihajlovich (BY), № a 20120676; zajavl. 30.04.2012; opubl. 30.04.2014. Aficyjny bjul. Nac. Cjentr intjelektual. ulasnasci. 2014. № 2. S. 124.

15. Sostav dlja briketirovanija topliva mnogokomponentnogo na osnove osadkov gorodskih stochnyh vod: pat. 24243 Resp. Belarus' / A. N. Pehota, R.N. Vostrova, V.N. Kovalenko, E.A. Pehota; zajavitel' UO «Belorusskij gosudarstvennyj universitet transporta» (BY), № a 20210296; zajavl. 20.10.2021; opubl. 15.03.2024. Aficyjny bjul. Nac. cjentr intjelektual. ulasnasci. 2024. № 2.

16. Karpovich, V. A. Vysokotemperaturnaja rezonansno-mikrovolnovaja ustanovka dlja obezvrezhivaniya medicinskih othodov / V. A. Karpovich, V. P. Golubev, V. V. Senchuk, V. N. Rodionova, G. I. i dr. //Jekologicheskij vestnik Rossii. – 2014. – № 9. – S. 39-41.

17. Vostrova, R. N. Vozvrat osadka stochnyh vod v narodnohozjajstvennyj oborot// Vodosnabzhenie, himija i prikladnaja jekologija: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Gomel', Belarus', 22 marta 2023 g. / Gomel': BelGUT; red-kol.: E.F. Kudina [i dr.]. – Gomel': BelGUT, 2023. – S.41-44.

18. Vostrova, R. N. Problemy ispol'zovanija netradicionnyh vidov topliva // Vodosnabzhenie, himija i prikladnaja jekologija: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Gomel', Belarus', 22 marta 2023 g. / Gomel': BelGUT; red-kol.: E.F. Kudina [i dr.]. – Gomel': BelGUT, 2023. – S.39-41.

19. Pehota, A. N. Jeffektivnye sposoby termicheskoj utilizacii gorjuchih othodov razlichnyh proizvodstv / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev, V. P. Golubev, A. A. Bojko // Jenergojeffektivnost'. – 2024. – № 6. – S. 20-26.

УДК 624.012.45/.46

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ КОММУНАЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

***Е. А. Пехота**, магистрант кафедры строительных технологий, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь,
e-mail: katap2526@gmail.com*

***О. Е. Пантюхов**, к. т. н., доцент, зав. кафедрой строительных технологий, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

***Б. М. Хрусталеv**, академик НАН Беларуси, д. т. н., профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: tgv_fes@bntu.by*

***А. Н. Пехота**, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжение и вентиляции, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: pehota.an@bntu.by*

Реферат

Рассмотрены основные направления определения дефектов железобетонных конструкций, возникающие при эксплуатации зданий и сооружений коммунально-хозяйственного назначения (очистных сооружений). Представлены разработанные критерии оценки технического состояния железобетонных

конструкций из тяжелого бетона, обеспечивающих пассивное состояние стальной арматуры, начиная с момента изготовления конструкции. Дана критериальная оценка основным зависимостям, оказывающим влияние на защитные свойства бетона и его коррозионное поведение.

Ключевые слова: железобетон, коррозионное разрушение, техническое состояние, несущая способность, эксплуатационные показатели.

DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR ASSESSING DEFECTS IN BUILDINGS AND STRUCTURES FOR COMMUNAL PURPOSES

E. A. Pekhota, O. E. Pantyukho, B. M. Khrustalev, A. N. Pekhota

Abstract

The main directions of determining defects of reinforced concrete structures arising during operation of buildings and structures of public utility purposes (treatment facilities) are considered. The developed criteria for assessing the technical condition of reinforced concrete structures made of heavy concrete, ensuring the passive state of steel reinforcement, starting from the moment of manufacturing the structure, are presented. A criterial assessment is given to the main dependencies influencing the protective properties of concrete and its corrosion behavior.

Keywords: reinforced concrete, corrosion damage, technical condition, bearing capacity, performance indicators.

Введение

Для любого здания неизбежен физический и моральный износ строительных элементов. Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности строящихся зданий и сооружений – основная задача проектных, строительных и эксплуатирующих организаций. Разрушительные процессы, протекающие в конструкциях, приводят к образованию повреждений – трещин, прогибов, деформаций, окислению и коррозии металлических деталей. Они могут быть внешними или скрытыми. Скрытые дефекты представляют собой особую угрозу, т. к. их невозможно увидеть без тщательного обследования, в связи с чем возникает необходимость вовремя выявить и устранить скрытые дефекты, которые могут стать причиной обрушения строительных конструкций.

Для предотвращения создания аварийных ситуаций, вызванных развитием во времени повреждений конструкций, необходимо тщательное изучение причин возникновения повреждений и их влияния на техническое состояние конструкций. Решением данной проблемы занимаются многие исследователи и научно-исследовательские лаборатории. В работе представлены разработанные критерии оценки дефектов, возникающие при эксплуатации зданий и сооружений коммунально-хозяйственного назначения.

Основная часть

Аналогичные исследования, выполненные по результатам сорокалетних обследований многочисленных конструкций зданий и сооружений с оценкой их технического состояния НИЛ «Строительные конструкции, основания и фундаменты» им. профессора И. А. Кудрявцева УО «Белорусского государственного университета транспорта», показывают, что различные виды коррозии

являются причиной более 60 % повреждений элементов и конструкций зданий и сооружений. Обобщенные данные исследований представлены в таблице 1.

При этом коррозионные процессы наиболее интенсивно протекают в жидкой среде, особенно при эксплуатации очистных сооружений водопроводно-канализационного хозяйства предприятий. Опасность коррозии в основном заключается в самопроизвольном разрушении, вызванным химическими и электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности твердых тел при взаимодействии с внешней атмосферной средой. Интенсивность воздействия коррозии на строительные конструкции зависит от вида материала и его подготовки в ходе выполнения строительных работ и агрессивности окружающей среды. По агрегатному состоянию наиболее агрессивной средой является многофазная, которая вступает в контакт, например, с фундаментами зданий и сооружений, контактирующими с минерализованными грунтовыми водами, часто загрязненными промышленными стоками, заполняющими поры твердого вещества скелета грунта, а также растворяют **газы**, находящиеся в этих порах.

С учетом огромного количества находящихся в эксплуатации зданий и сооружений, в настоящее время появилась необходимость в дополнительной разработке специальной технической литературы и рекомендаций, позволяющих повысить качество находящихся в эксплуатации объектов строительства в доступной форме и применять их на практике.

По оценке ряда исследователей, определено, что в воздушных эксплуатационных средах присутствуют различные кислые газы. Подавляющее большинство эксплуатируемых железобетонных элементов (ЖБЭ) и железобетонных конструкций (ЖБК) в первую очередь подвержены влиянию карбонизации, ввиду воздействия углекислого газа, содержащегося в воздухе и присутствующего в эксплуатируемых средах постоянно. Его концентрация в воздухе в $10-10^4$ раз выше концентрации других кислых газов. Вызывая нейтрализацию бетона, карбонизация, как следствие, определяет потерю бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре, что в соответствующих условиях способствует образованию и развитию процессов коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности. Карбонизации подвержены все ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующиеся в любых воздушных средах, что и обуславливает необходимость исследования ее влияния на изменение технического состояния ЖБЭ и ЖБК в процессе эксплуатации [1, 2].

Таблица 1 – Количественное соотношение между повреждениями конструкций

Причины повреждений конструкций	Количество случаев повреждения конструкций без обрушения, %	Количество случаев обрушения конструкций, %
Целенаправленное нарушение сплошности конструкций	1 (0,5)	
Случайные нарушения сплошности конструкций	14 (6,9)	1 (0,5)
Влажностная коррозия	24 (11,9)	–
Химическая коррозия	8 (3,9)	–
Морозная коррозия	14 (6,9)	–
Электрохимическая коррозия	-	–
Другие виды коррозии	3 (1,5)	–

Продолжение таблицы 1

Причины повреждений конструкций	Количество случаев повреждения конструкций без обрушения, %	Количество случаев обрушения конструкций, %
Изменчивость технологических параметров (прочности материалов, геометрических размеров и т. п.)	8 (3,9)	7 (3,5)
Изменения условий опирания и соединения конструкций между собой при монтаже	11 (5,4)	15 (7,5)
Отсутствие проекта при строительстве		–
Целенаправленное изменение расчетной схемы конструкций и сечения при ремонтах	1 (0,5)	
Замена марок и классов бетона и арматуры при изготовлении	2 (0,9)	1 (0,5)
Замена конструкций при монтаже и реконструкции	4 (1,9)	1 (0,5)
Замена материалов и конструкций, создающих нагрузку на расчетный элемент	4 (1,9)	6 (2,9)
Несоблюдение норм проектирования	16 (7,9)	17 (8,4)
Строительство неквалифицированными кадрами	13 (6,4)	15 (7,5)
Неквалифицированная эксплуатация	12 (5,8)	3 (1,5)
ИТОГО:	135 (67,2)	66 (32,8)

На сегодняшний день большинство конструкций зданий и сооружений производственного и коммунально-хозяйственного значения эксплуатируются в различных воздушных средах (в атмосферных условиях, условиях производственных, общественных помещений и помещений коммунально-хозяйственного назначения). Длительная эксплуатация железобетонных конструкций в агрессивных воздушных средах существенно влияет на их долговечность, уменьшая остаточный ресурс, который значительно изменяется в зависимости от срока, условий и окружающей среды эксплуатации.

Наибольший интерес представляют конструкции, эксплуатируемые в атмосферных условиях и условиях помещений коммунально-хозяйственного назначения (КХН), поскольку их условия эксплуатации значительно отличаются от условий эксплуатации жилых и общественных зданий.

Проведенные исследования и обследования различных типов конструкций с использованием методов рН- и карбометрии и оценкой состояния арматуры позволили определить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБК для класса среды по условиям эксплуатации КХН в соответствии с [3] по физико-химическим показателям цементно-песчаной фракции бетона рН и КС и степени коррозии арматуры.

Обследование большого числа зданий и сооружений коммунально-хозяйственного назначения показало, что условия эксплуатации в них значительно отличаются от классов среды по условиям эксплуатации, предлагаемых в СТБ 5.03.01-023 Бетонные и железобетонные конструкции [3, 8].

Для оценки технического состояния конструкций, эксплуатируемых в условиях коммунально-хозяйственных помещений для СНБ 5.03.01-02 предложен класс среды по условиям эксплуатации конструкций ХС5 (70 % <RH <90 %, концентрация CO₂ 0,2–0,3 %). Критерии оценки технического состояния ЖБК по показателям щелочности поровой жидкости, карбонатной составляющей и

степени коррозии арматуры для классов среды по условиям эксплуатации ХС3 и ХС5 представлены в таблице 2.

Показатели pH и КС получены при анализе цементно-песчаной фракции проб бетона и приведены для бетонов, в составе которых отсутствуют добавки, повышающие содержание карбонатной составляющей [4–7]. В зависимости от выявленных дефектов и повреждений в железобетонных элементах и конструкциях необходимо проведение комплекса работ по восстановлению их целостности и несущей способности. Разработанные критерии оценки технического состояния ЖБК позволяют в зависимости от полученных значений показателей pH и КС и определенного технического состояния ЖБК назначить категории по их восстановлению, которые также приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии оценки технического состояния ЖБК для класса среды по условиям эксплуатации конструкций коммунально-хозяйственного назначения

pH	КС, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние ЖБК. (в соответствии с СНБ 1.04.01-04)	Категория восста- новления
1	2	3	4
12,5–11,8	<5	Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – хорошее. Техническое состояние ЖБК – хорошее	I
12,5–11,8	5–7	Происходит плавное снижение показателя pH , свидетельствующее о нейтрализации бетона и падении его защитных свойств по отношению к арматуре. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	I
12,5–11,8	6–9	Происходит плавное снижение показателя pH . Его значения приближаются к границе, после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что вызывает возможность развития коррозии во влажной среде либо в условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	I
12,5–11,8	6–9	Происходит плавное снижение показателя pH . Его значения приближаются к границе, после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что вызывает возможность развития коррозии во влажной среде либо в условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	I
11,8–11,3	8–18	Происходит плавное снижение показателя pH . Его значения приближаются к границе, после которой начинается его резкое снижение, свидетельствующее о полной потере бетоном защитных свойств по отношению к арматуре	II
		I степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 25 лет. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
11,3–10,9	9–18	Развитие деградационных процессов в бетоне. 1 степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 15 лет. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	II
		II степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 20 лет. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное	III
10,9–10,5	9–20	Ускорение деградационных процессов в бетоне и арматуре. степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 15 лет. степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 20 лет. Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное.	III
10,5–10,3	13–20	Интенсивная деградация бетона. Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. III степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 20 лет. Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное.	IV
10,5–10,3	13–20	Образование трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. IV степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 25 лет. Состояние бетона – не вполне удовлетворительное. Состояние арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное	V
10,3–9,5	13–25	Деградация бетона повышенной интенсивности. Образование трещин различной ширины раскрытия в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. Отслаивание защитного слоя бетона в местах его недостаточной толщины. Частичное разрушение защитного слоя бетона. IV степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 30 лет. Состояние бетона, арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное V степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 40 лет. Состояние бетона, арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное (предаварийное)	V
<9,5	16–29	Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. V степень коррозии арматуры. Состояние бетона и арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – предаварийное	V
<10	2–9	Нарушен рецептурный состав (недостаток вяжущего и избыток заполнителей). Состояние конструкций оценивается по результатам детального обследования	–

Предлагаемые критерии оценки технического состояния ЖБК разработаны только для конструкций из тяжелого бетона, в которых применена ненапрягаемая арматура. При применении в конструкции напрягаемой арматуры необходимо при оценке технического состояния конструкции и выборе категории восстановления принимать их на одну позицию в сторону увеличения (ухудшения технического состояния и усложнения комплекса работ по восстановлению конструкции).

Выводы

Разработанные критерии соответствуют только тяжелым бетонам, обеспечивающим пассивное состояние стальной арматуры, начиная с момента изготовления конструкции. В свою очередь, защитные свойства бетона и его коррозионное поведение будут зависеть от концентрации CO_2 в воздухе, состава бетона, условий твердения, а также от вида и расхода вяжущего, определяющих буферную емкость бетона. Помимо перечисленного, пассивное состояние арматуры будет зависеть от толщины защитного слоя бетона и условий эксплуатации (увлажнения, перепада температур и др.).

Список цитированных источников

1. Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 с.
2. Кудрявцев, И. А. Исследование равномерности глубины залегания карбонизированного слоя по глубине в балке пролетного строения / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений, подготовки инженерных кадров для строительной отрасли : материалы VII Междунар. науч.-практ. семинара. – Минск : Стринко, 2001. – С. 227–229.
3. Бетонные и железобетонные конструкции: СТБ 5.03.01-02. – Введ. 2003-07-01. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2003. – 139 с.
4. Бабушкин, В. И. Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян ; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.
5. Васильев, А. А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.
6. Пантюхов, О. Е. Технология монолитного и приобъектного бетонирования : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для специализации «Производство строительных изделий и конструкций» / О. Е. Пантюхов, Т. В. Яшина ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 98 с.
7. Шаповалов, В. М. Организация и планирование в строительном производстве (в вопросах и ответах) : учеб.-метод. пособие для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» / В. М. Шаповалов, О. Е. Пантюхов ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015 – 211 с.
8. Пехота, Е. А. Новые технологии в обеспечении эксплуатационной надежности резервуаров и экологической безопасности / Е. А. Пехота, А. А. Васильев, А. Н. Пехота // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. - сборник трудов Мин. образования Респ. Беларусь, Брест. гос. технич. ун-т ; редкол. : А. А. Волчек [и др.] . – Брест : БрГТУ, 2022 – С. 170–173.

References

1. Vasil'ev, A. A. Karbonizaciya betona (ocenka i prognozirovanie) / A. A. Vasil'ev ; M-vo obrazovaniya Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2013. – 304 s.
2. Kudryavcev, I. A. Issledovanie ravnomernosti glubiny zaleganiya karbonizirovannogo sloya po glubine v balke proletnogo stroeniya / I. A. Kudryavcev, V. P. Bogdanov // Problemy tekhnologii proizvodstva stroitel'nyh materialov, izdelij i konstrukcij, stroitel'stva zdaniy i sooruzhenij, podgotovki inzhenernyh kadrov dlya stroitel'noj otrasli : materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. seminara. – Minsk : Strinko, 2001. – S. 227–229.

3. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii: STB 5.03.01-02. – Vved. 2003-07-01. – Minsk: M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2003. – 139 s.
4. Babushkin, V. I. Termodinamika silikatov / V. I. Babushkin, G. M. Matveev, O. P. Mchedlov-Petrosyan; pod red. O.P. Mchedlova-Petrosyana. – 4-e izd.– M.: Strojizdat, 1986. – 408 s.
5. Vasil'ev, A. A. Raschetno-eksperimental'naya model' karbonizacii betona / A. A. Vasil'ev ; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus.gos. un-t transp. – Gomel': BelGUT, 2016. – 263 s.
6. Pantyuhov, O. E. Tekhnologiya monolitnogo i priob»ektного betonirovaniya : ucheb.- metod. posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu dlya specializacii «Proizvodstvo stroitel'nyh izdelij i konstrukcij» / O. E. Pantyuhov, T. V. YAshina ; M-vo obrazovaniya Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2009. – 98 s.
7. SHapovalov, V. M. Organizaciya i planirovanie v stroitel'nom proizvodstve (v voprosah i otvetah) : ucheb.-metod. posobie dlya studentov special'nosti «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo» / V. M. SHapovalov, O. E. Pantyuhov; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2015 – 211 s.
8. Pekhota, E.A. Novye tekhnologii v obespechenii ekspluatacionnoj nadezhnosti rezervuarov i ekologicheskoy bezopasnosti / E.A. Pekhota, A.A. Vasil'ev, A.N. Pekhota // Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie i ekologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya : materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - sbornik trudov Min. obrazovaniya Resp. Belarus', Brest. gos. tekhnich. un-t ; redkol.: A. A. Volchek [i dr.] . – Brest : BrGTU, 2022 – 170-173 s.

УДК 621.6; 62.9

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕГАЗАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГАЗГОЛЬДЕРОВ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕГАЗАЦИОННО-ВЕНТИЛЯЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

*Е. А. Пехота, м. т. н., ст. преподаватель кафедры промышленной
теплоэнергетики, Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, e-mail: delf_1@mail.ru*

*В. Н. Романюк, д. т. н., профессор, Белорусский национальный технический
университет, Минск, Беларусь, e-mail: tgv_fes@bntu.by*

Реферат

Рассмотрены основные направления организации безопасной подготовки газгольдеров к техническому диагностированию с применением дегазационно-вентиляционного устройства. В статье представлены современные требования необходимые для поддержания высокого уровня безопасности при выполнении работ в газгольдерах, используемых в газовой отрасли Республики Беларусь для обеспечения бесперебойного газоснабжения и реализации газа на стационарных газозаправочных станциях. Обеспечение безопасного выполнения газоопасных работ, а также необходимость подготовки внутренней поверхности газгольдеров для технического диагностирования и ремонта требует внедрения в газоснабжающих организациях новых энергоэффективных, безопасных и экологических производственных процессов и оборудования. Описаны функциональные назначения и достоинства разработанного дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450.

Ключевые слова: газгольдер, дегазация, дегазационно-вентиляционное устройство, газоопасные работы, техническая диагностика, производственная безопасность, бесперебойное газоснабжение, выбросы вредных веществ.

IMPROVING THE QUALITY OF DEGASSING IN THE PREPARATION OF GAS TANKS FOR TECHNICAL DIAGNOSTICS USING A DEGASSING AND VENTILATION DEVICE

E. A. Pekhota, V. N. Romanyuk

Abstract

The main directions of the organization of safe preparation of gas tanks for technical diagnostics using a degassing and ventilation device are considered. The article presents the modern requirements necessary to maintain a high level of safety when performing work in gas tanks used in the gas industry of the Republic of Belarus to ensure uninterrupted gas supply and gas sales at stationary gas filling stations. Ensuring the safe performance of gas hazardous work, as well as the need to prepare the inner surface of gas tanks for technical diagnosis and repair, requires the introduction of new energy-efficient, safe and environmentally friendly production processes and equipment in gas supply organizations. The functional purposes and advantages of the developed degassing and ventilation device DVU-FS-1/450 are described.

Keywords: gas tank, degassing, degassing and ventilation device, gas hazardous work, technical diagnostics, industrial safety, uninterrupted gas supply, emissions of harmful substances.

Введение

Как известно, длительная эксплуатация оборудования, применяемого в газовой отрасли, приводит к деградации металла, при этом повышается предел текучести, снижаются показатели пластичности. Деградация металла, например, газгольдеров, при длительной эксплуатации, неудовлетворительном техническом состоянии увеличивает вероятность частичного или полного разрушения конструкций, в связи с чем особую актуальность приобретает необходимость решения вопросов обеспечения надежности эксплуатации газгольдеров за счет повышения качества технического диагностирования. При этом с увеличением срока службы технологического оборудования сокращаются промежутки его межпериодного освидетельствования.

Надежность резервуаров хранения газов определяются, в первую очередь, свойством его конструкции выполнять функции приема, хранения и отбора из него сжиженных газов при заданных технических параметрах в условиях определенного периода времени года, способа размещения газгольдера и т. п. Оценка уровня надежности и долговечности газгольдеров и его элементов проводится по установленным параметрам конструкции, которые определяются технической документацией. Определенными критериями, характеризующими эксплуатационную надежность газгольдеров, являются [1, 2]:

– безотказность – свойство газгольдера и его элементов сохранять работоспособность без вынужденных перерывов в работе. Вероятность безотказной работы служит количественным показателем надежности (критерий прочности, устойчивости и выносливости);

– работоспособность – техническое состояние, при котором емкость хранения СУГ способна выполнять свои функции без отклонений от параметров сосуда, работающего под давлением, установленных согласно техдокументации. Для поддержания его работоспособности необходимо организовывать и выполнять в установленные сроки профилактику, раннюю диагностику дефектов, техническое освидетельствование, а также, при необходимости, и текущие и капитальные ремонты;

– долговечность – свойство конструкции (газгольдера и его элементов) сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Показателем долговечности может служить ресурс или срок службы.

Зачастую несоблюдение элементарных правил безопасности, применение не исправного оборудования и отсутствие взрывобезопасной системы вентиляции при дегазации газовых емкостей в помещениях приводит к авариям с тяжелыми последствиями, что говорит о важности решения данной проблемы.

Так 27 августа 2024 года в Минском районе, в агрогородке Озерцо произошел взрыв газовой смеси при дегазации транспортного сосуда, работающего под давлением. В ходе выполнения дегазации сосуда с минимальными донными остатками сжиженного газа образовалась вспышка газовой смеси, в результате чего произошло обрушение железобетонного перекрытия здания на площади около 230 м² [3]. Последствия взрыва газовой смеси представлены на рисунке 1. По данным иллюстрациям сложно в полной мере оценить разрушительные способности взрыва газовой смеси, однако, согласно материалам Министерства по чрезвычайным ситуациям, затраты людей и техники при аварийно-спасательных работах были весьма существенны. При этом МЧС потребовалось дополнительно выполнить работы по стабилизации обрушившихся плит перекрытий, обеспечить вентиляцию объекта и смежных помещений, провести разведку и поиск пострадавших, а также выполнить комплекс работ по оценке наличия опасных химических веществ в зоне проведения аварии и поддерживать безопасное состояние воздушной среды при ликвидации последствий.



Рисунок 1 – Вид повреждений здания при дегазации транспортной емкости сжиженного газа при взрыве газовой смеси [3]

Таким образом, подготовка газгольдеров всех типов к техническому обслуживанию, ремонту, техническому освидетельствованию, смене вида хранимого или транспортируемого сжиженного газа является ответственным мероприятием и требует разработки и внедрения новых методов и средств дегазации обеспечивающих безопасное проведение работ.

В то же время количественная и качественная оценка технического состояния газгольдеров и устранение выявленных дефектов повышает их надежность при эксплуатации. Обоснованную оценку можно получить только на основании комплексной проверки, включающей в себя дефектоскопию сварных соединений, определение коррозионного повреждения металла, проверку качественных показателей металла корпуса обечайки, контроль толщины стенок отдельных элементов, изменений геометрической формы и др.

Выявление и оценка степени опасности дефектов с научной точки зрения остаются достаточно сложной задачей, требующей многочисленных исследований, в первую очередь, внутренней поверхности газгольдера. Примеры коррозионного повреждения внутренней поверхности газгольдера представлены на рисунке 2.

При этом с виду безопасное коррозионное повреждение внутренней поверхности зачастую приводит к трагическим последствиям, связанным с их взрывоопасностью, так как в поверхностных слоях металла, «рыхлых» и «расслоенных» коррозионных отложениях скапливаются пирофорные отложения. Пирофорные отложения на внутренней поверхности газгольдеров представляют собой продукты сернисто-водородной коррозии, включающей сернистые соединения железа, органических смолистых веществ и механических примесей.



Рисунок 2 – Вид образований пирофорных отложений при коррозионных повреждениях внутренней поверхности газгольдера хранения сжиженного газа

При этом регламентирующая нормативно-техническая документация по методам и средствам неразрушающего контроля, учитывающая развитие

существующих дефектов, не имеет широкого распространения в области дефектоскопии в силу сложности исполнения и высоких экономических затрат проведения контроля. Тем самым задача обнаружения развивающихся дефектов является актуальной как с научных, так и с технических позиций [4]. Поэтому зачастую обеспечение безопасной эксплуатации опасных производственных объектов, на которых используются газгольдеры, остается недостаточной, и основными сдерживающими факторами являются недостаточное использование методов, выявляющих развивающиеся типы дефектов, а также качественная дегазация и подготовка металлической поверхности.

Таким образом, в целях обеспечения безопасного выполнения работ на объектах газоснабжения, необходимо проводить техническое диагностирование и освидетельствование технологического оборудования с применением средств дегазации. В связи с этим особое значение приобретает повышение эффективности дегазации данного оборудования до начала проведения работ [4, 5] с целью обеспечения безопасного выполнения газоопасных работ. Дегазационная подготовка оборудования в настоящее время является обязательной и проводится с оформлением наряда-допуска и применением специализированного оборудования и технологий дегазации.

При этом в основу цели исследования положен поиск и разработка конструкции наиболее эффективного технологического оборудования и способа дегазации, обеспечивающих минимизацию затрат энергоресурсов на этот процесс, с возможностью снижения вредных выбросов в окружающую среду, так как проведение дегазации связано со значительным выделением различных химических газообразных веществ, содержащихся в остатках газгольдеров.

Внедрение современных энергоэффективных и экологических технологий в связке с новым технологическим оборудованием обеспечат поддержание высокого уровня промышленной безопасности на объектах газораспределительной системы.

Авторами выполнен анализ современных технологий и оборудования, применяемых для дегазации и поддержания высокого уровня промышленной безопасности в газовой отрасли и разработано дегазационно-вентиляционное устройство ДВУ-ФС-1/450, вид которого и конструктивные особенности представлены на рисунке 3.

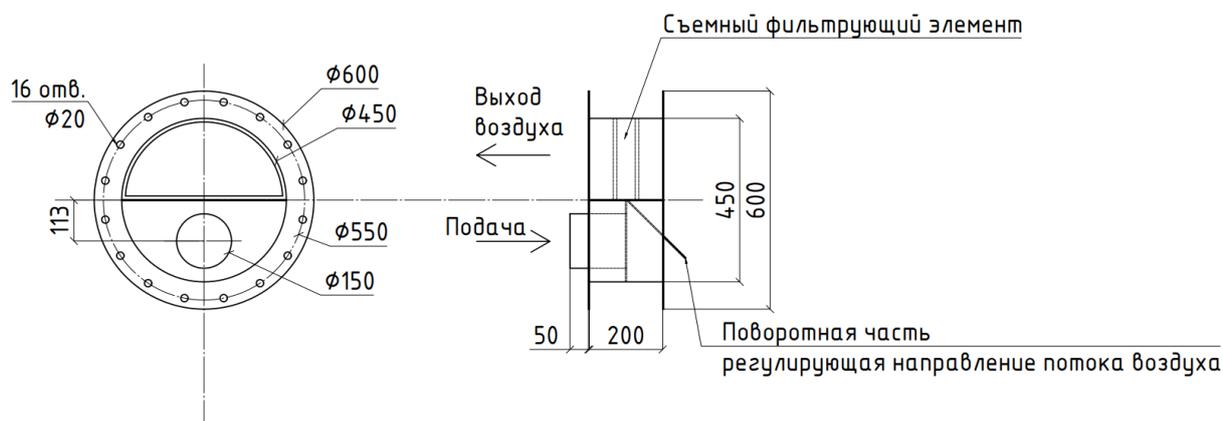


Рисунок 3 – Схема разработанного дегазационно-вентиляционного устройства

Основные принципы, отраженные в разработанной конструкции, с учетом особенностей применения и критериев качества дегазации обозначены в следующем. В процессе дегазации газгольдера методом принудительной вентиляции используются приводные устройства – вентиляторы, оборудованные электромотором. Последний обязательно должен иметь взрывозащищенный корпус. Для подачи атмосферного воздуха в сосуд монтируются трубопроводы, причем их конструкция выполнена из искробезопасных материалов – брезент или бельтинг и ПВХ материал.

Особенностями дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 для дегазации газгольдера являются:

– для подачи воздуха используются специальные крышки люка газгольдера, на которых устанавливается ДВУ-ФС-1/450 с воздухопроводами, данная конструкция обеспечивает герметичность блока прохождения воздухопровода и технологического процесса дегазации;

– атмосферный воздух подают на скорости различных скоростях начиная с 2 м/с, при этом максимальный напор зависит от концентрации паров в газгольдере;

– в ходе предварительных исследований определено, что на скорости от 1 м/с и ниже дегазация газгольдера запрещается, ввиду скопления большого объема взрывоопасных веществ в системе отвода дегазационного устройства.

Выводы

Для повышения уровня эффективности и экологичности работ по дегазации, появилась необходимость более детального изучения вопросов, связанных с изучением тепло- массообменных и вентиляционных процессов в зоне ведения дегазационных работ. Детальное изучение данных процессов распределения тепловой, вентиляционной и газовой динамики при применении различных технологических процессов и оборудования, позволило определить наиболее современные и эффективные пути научно оправданных технологий дегазации.

Список цитированных источников

1. О промышленной безопасности : Закон Респ. Беларусь, 5 янв. 2016 г. № 354-З // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N11600354> (дата обращения: 30.10.2024).

2. Правила по обеспечению промышленной безопасности при добыче нефти и газа : утв. пост. Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 22 нояб. 2013 г. № 55. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21328122p> (дата обращения: 30.10.2024).

3. Ликвидация последствий взрыва газовоздушной смеси // Мин-во по чрезвычайным ситуациям, 2024. – URL: <https://rosn.mchs.gov.by/novosti/460013/> (дата доступа: 30.10.2024).

4. Naik, S. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells / S. Naik, S. Yang, P. Bedrikovetsky, M. Woolley // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 67. – P. 56–70.

5. Burlutskii, E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling / E. Burlutskii // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 62. – P. 294–301.

References

1. Zakon Respubliki Belarus' «O promyshlennoj bezopasnosti» ot 5 janvarja 2016 g. № 354-Z (prinjat Palatoj predstavitelej 10 dekabrja 2015 goda, odobren Sovetom Respubliki 18 dekabrja 2015 goda).

2. Pravila po obespečeniju promyshlennoj bezopasnosti pri dobyche nefti i gaza utv. Postanovleniem Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus' ot 22 nojabrja 2013 g. № 55.

3. Likvidacija posledstvij vzryva gazovozdushnoj smesi // Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam 2024. URL: <https://rosn.mchs.gov.by/novosti/460013/> (data dostupa: 30.10.2024).

4. Naik S., Yang S., Bedrikovetsky P., Woolley M. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 67, pp. 56—70.

5. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 62, pp. 294—301.

УДК 64-6

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОТУРБИННЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ

*М. Сарыев, Ш. Аллакулыев, А. Ходжалыев, ст. преподаватели,
Государственный энергетический институт Туркменистана,
Мары, Туркменистан*

Аннотация

В работе представлены основные преимущества и недостатки вспомогательного оборудования тепловых электрических станций. Рассмотрен пример вспомогательного оборудования и его основные технические характеристики

Ключевые слова: энергоблок, конденсатор, эжектор, давление, температура.

INCREASING THE OPERATION EFFICIENCY OF STEAM TURBINE POWER UNITS

M. Saryev, Sh. Allakulyev, A. Hodzhalyev

Abstract

The paper presents the main advantages and disadvantages of auxiliary equipment of thermal power plants. An example of auxiliary equipment and its main technical characteristics are considered

Keywords: power unit, condenser, ejector, pressure, temperature.

Производство электрической энергии в тепловых электрических станциях осуществляется в следующей последовательности: вода высокого давления, обессоленная и очищенная от неконденсирующихся газов, подается в паровой котел и движется по теплообменным трубам котла, и за счет тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива в котле, производится пар высокого давления. Произведенный пар высокого давления направляется в рабочие лопатки турбины, и кинетическая энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, производит электрическую энергию в электрогенераторе. Пар, образующийся в турбине, конденсируется в конденсаторе и через конденсатный насос проходит через регенеративные подогреватели

низкого давления и деаэрактор, после деаэратора его давление повышается питательным насосом. Затем он направляется в паровой котел через регенеративные подогреватели высокого давления. В тепловых электрических станциях с такой циркуляцией поток рабочего тела осуществляется по замкнутому контуру.

Рабочий пар покидает котел и через два паропровода диаметром 325 x 38 мм поступает в главную паровую задвижку паровой турбины. Далее доходит до предохранительных клапанов. Через эти клапаны по 4 трубам диаметром 273 x 32 мм он поступает к 4 регулирующим клапанам и после этого – в цилиндр высокого давления. Здесь рабочее давление пара достигает 130 кгс/см², а температура – 545⁰ С. После прохождения рабочим паром 12 ступеней давления и поступления в цилиндр высокого давления, его давление снижается до $p = 26,4$ кгс/см² и температура до $t = 327^0$ С. Рабочий пар выходит из цилиндра высокого давления и по 2 трубам диаметром 426 x 14 мм поступает в промежуточные пароперегреватели парового котла. Рабочий пар выходит из промежуточных пароперегревателей и по 4 трубам диаметром 412 x 26 мм, поступает к 4 регулирующим клапанам и далее к цилиндру среднего давления. Там рабочее давление пара $p = 24,2$ кгс/см², $t = 545^0$ С. Рабочий пар проходит через 11 ступеней давления цилиндра среднего давления и поступает в цилиндр низкого давления двумя потоками по 2 трубопроводам диаметром 1500 мм. Затем рабочий пар поступает в конденсатор через два выхода. В конденсаторе он охлаждается с помощью технической воды, пар в конденсаторе превращается в конденсат, а затем с помощью питательного насоса подается в паровой котел.

Для снижения давления рабочего пара при запуске энергоблока или в случае аварийной ситуации имеется быстродействующая редуцирующая охлаждающая установка (БРОУ). Она охлаждает рабочий пар перед турбиной и передает его в конденсатор.

Установка имеет производительность 200 т/ч, давление – 6 кгс/см², $t = 200^0$ С. Она начинает работать автоматически, когда рабочее давление пара достигает $p = 140$ кгс/см².

Перед вводом в эксплуатацию паротурбинных энергоблоков проверяется наличие воды в котле. Уровень воды в барабане не должен превышать норму. Газопроводы вентилируются в течение 10–12 минут до воспламенения топлива. Последовательность ввода в эксплуатацию следующая: после запуска дымососа или проверки герметичности дымохода подается воздух. Перед камерой сгорания создается напряжение (20÷100 кПа), только после этого топливо подается и воспламеняется.

Удаление воздуха из барабана пароперегревателей со свечами должно осуществляться до давления 0,2–0,4 МПа. В противном случае воздух с первыми парами поступает в турбину и снижает разрежение в конденсаторе.

При растопке барабанных котлов вода в экономайзере непрерывно нагревается, а затем испаряется. Чтобы трубы экономайзера всегда оставались охлажденными, между барабаном установлены соединительные патрубki, соединяющие водную часть барабана и экономайзера. Поэтому сливы подогревателя всегда должны быть открыты, когда котлы топят или пар подается в магистраль.

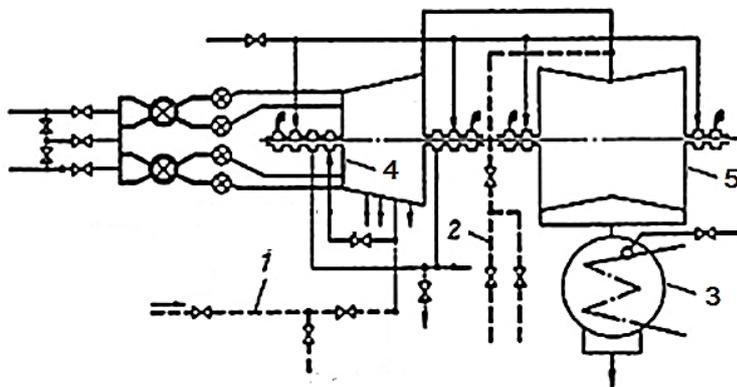
Подключение парового котла к общим паровым трубам происходит после полного прогрева. При полном рабочем давлении парового котла следует проверить полное состояние агрегата, герметичность подающей арматуры.

Частые пуски и остановки паровых турбин на тепловых электрических станциях приводят к дополнительным потерям топлива и снижению эксплуатационной надежности из-за тепловых изменений ротора турбины. Поэтому можно считать экономически целесообразным перевод режима работы турбогенератора в моторный режим при выполнении соответствующих условий.

В этом режиме работы при включении силового блока подача пара в турбину прекращается, и паровой котел выводится из работы. Генератор от системы не отключается, он вращает турбину со скоростью 3000 об/мин, как двигатель. Особенностью перехода в моторный режим является то, что в таком режиме работы устраняются проблемы вывода ротора на максимальную скорость при запуске турбины и синхронизации его с системой. В свою очередь, это облегчает пуск энергоблока и работу рабочего персонала, особенно при вводе в эксплуатацию нескольких энергоблоков.

Однако в таком режиме работы не допускается работа на частоте 3000 об /мин без подачи пара в проточную часть турбины, потому что при вращении ротора с частотой 3000 об/мин его рабочие лопатки нагреваются из-за трения вентиляции. Поэтому при переходе турбогенератора в моторный режим, в проточную часть турбины необходимо подавать пар для охлаждения частиц. Для этого пар от другого энергоблока со стороны проточной части турбины от отбора соответствующей этому параметру части с помощью специальных трансмиссионных трубок отбирается. Если силовой агрегат длительное время находится вне эксплуатации, экономическая эффективность работы моторного режима снижается. Это связано с тем, что тепло длительное время забирается из другого источника, а электрическая энергия используется для работы циркуляционных и конденсатных насосов. Однако при кратковременной остановке энергоблока турбина сохраняется в горячем состоянии, а экономическая эффективность работы моторного режима повышается за счет экономии топлива, расходуемого на режим холостого хода при пуске.

Кроме того, особенностью работы моторного режима является то, что частота вращения ротора поддерживается на номинальном уровне при пуске или остановке силового агрегата. Это, в свою очередь, исключает проблему прохождения опасных критических оборотов при вращении ротора. Он защищает ротор и рабочих лопаток от резонанса и повреждение ротора.



1, 2 – паропроводы для подачи пара в турбину от другого источника;
3 – конденсатор турбины, 4 – цилиндр высокого давления, 5 – цилиндр низкого давления
Рисунок 1 – Принципиальная схема поддержания турбины в режиме двигателя

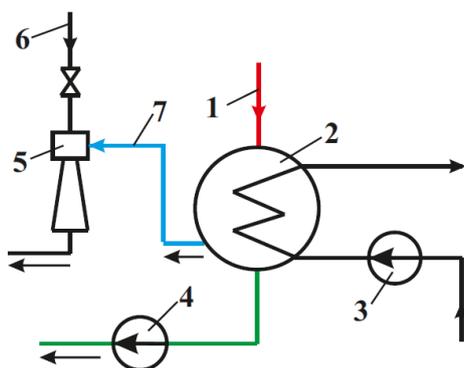
В тепловых электрических станциях одной из основных проблем является обеспечение бесперебойной, надежной и экономичной работы существующего оборудования и механизмов в энергетике. На основе Государственной программы энергосбережения на 2018–2024 годы по замене водяных эжекторов, используемых в вакуумной системе паротурбинных электростанций, на паровые эжекторы, рассмотрена проблема экономии электроэнергии, потребляемой энергоблоком на собственные нужды.

Технические характеристики водяных и паровых эжекторов, применяемых в вакуумных системах.

На паротурбинных теплоэлектростанциях процесс конденсации в конденсаторе протекает при давлениях ниже атмосферного (вакуум). После того, как пар, образующийся в турбине, конденсируется в конденсаторе, в его паровом пространстве скапливаются неконденсирующиеся газы, что приводит к увеличению парциального давления в паровом пространстве конденсатора по мере накопления газов и вызывает ухудшение явления конденсации. Эжекторы применяются для непрерывного удаления неконденсирующихся газов из парового пространства конденсатора в энергоблоках тепловых электростанций.

В Марыйском ГРЭС в качестве главных эжекторов используется водяные эжекторы на энергоблоке №8.

Простая схема конденсационной системы энергоблока показана на рисунке 2.



- 1 – вход пара турбины в конденсатор; 2 – конденсатор турбины;
 3 – циркуляционный насос охлаждающей воды; 4 – конденсатный насос;
 5 – эжектор; 6 – вход рабочей среды в эжектор;
 7 – удаление паровоздушной смеси из конденсатора

Рисунок 2 – Простая схема конденсационной системы энергоблока

Таблица 1 – Технические характеристики водяного эжектора ЭВ-7-1000

Тип эжектора	Показатели	Значение показателей
ЭВ-7-1000	Расход воды (м ³ /ч)	2000
	Давление воды, подаваемой в эжектор (бар)	3,4
	Частота вращения вала электродвигателя (об/мин)	1000
	Мощность электродвигателя (кВт)	630
	Рабочее напряжение электродвигателя (В)	6000
	Производительность всасывания эжектора (м ³ /ч)	2500

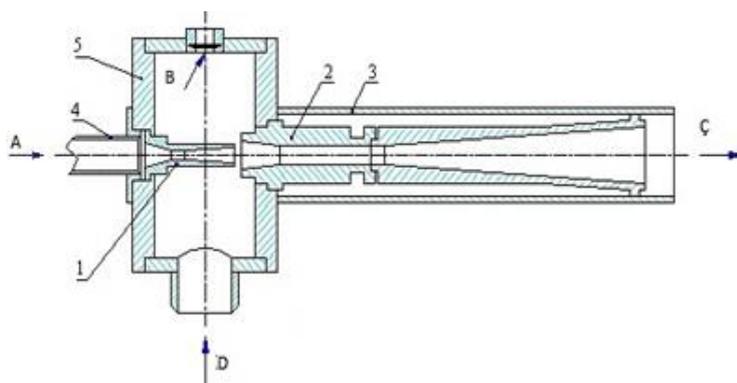
ЭВ – эжектор водяной; первая цифра 7 – количество проходов воды из эжектора; вторая цифра 1000 – расход воды из эжектора; м³/ч

Таблица 2 – Технические характеристики парового эжектора ЭП-3-700-1

Тип эжектора	Показатели	Значение показателей
ЭП-3-700-1	Расход пара в эжекторе (кг/ч)	700
	Рабочее давление пара (бар)	3,5
	Производительность всасывания воздуха (кг/ч)	70

ЭП – эжектор паровой; первая цифра 3 – количество ступеней эжектора; вторая цифра 700 – расход рабочего пара в эжекторе; кг/ч

Последовательность работы эжекторов показана на рисунке 3.

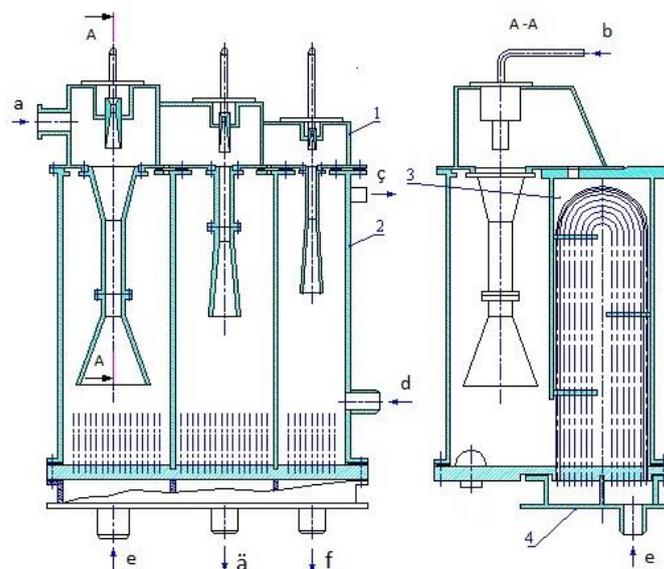


1 – сопло; 2 – диффузор; 3 – выхлопная труба;
4 – вход рабочей среды; 5 – камера смешивания

Рисунок 3 – Принципиальная схема простого одноступенчатого эжектора

Рабочая среда подается в сопло 1 через входное отверстие 4, сопло соединено с цилиндрической камерой смешивания 5, и за счет высокоскоростного движения рабочей среды на выходе из сопла паровоздушная смесь из камеры смешивания направляется в диффузор 2, в котором происходит поток. После диффузора скорость снижается за счет расширения, и паровоздушная смесь выбрасывается в атмосферу через выхлопную трубу 3. Эжекторы бывают разной производительности в зависимости от мощности силовых агрегатов. В высокопроизводительных эжекторах вместе с паровоздушной смесью в атмосферу выбрасывается большое количество чистого пара. Такие ситуации в основном возникают при использовании водяных эжекторов. В водяном эжекторе рабочее тело движется с большой скоростью, вода увлекает за собой пары паровоздушной смеси, поступающие из конденсатора, и для работы водяных эжекторов необходимо использовать специальные всасывающие насосы, которые, в свою очередь, требуют большого количества электроэнергии. Отличие паровых эжекторов от основных состоит в том, что они могут быть оснащены ступенчатой камерой охлаждения пара для конденсации паров, содержащихся в паровоздушной смеси, перед выбросом в атмосферу.

Наиболее широко используемые в сегодняшние дни паровые эжекторы в качестве основных эжекторов представляют собой многоступенчатые паровые эжекторы. Последовательность работы многоступенчатого парового эжектора показана на рисунке 4.



1 – крышка; 2 – корпус; 3 – трубный пучок; 4 – водяная камера
Рисунок 4 – Принципиальная схема многоступенчатого парового эжектора

На энергоблоке № 8 Марьинской ГРЭС в качестве основных эжекторов используются 2 типа водяных эжекторов типа ЭВ-7-1000. В нормальных условиях работы один из них находится в работе, а другой – в резерве. Рабочий расход воды каждого из этих эжекторов $G = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление воды $p = 3,4 \text{ бар}$. Питание эжекторов рабочей водой осуществляется с помощью двух водяных насосов типа Д-2500/62. Работу каждого водяного насоса обеспечивают асинхронные электродвигатели мощностью $N = 630 \text{ кВт}$, напряжением $U = 6000 \text{ В}$, частотой вращения $n = 1000 \text{ об/мин}$. Несмотря на способность водяных эжекторов поддерживать глубокий вакуум в конденсаторе турбины, они считаются экономически невыгодными по сравнению с паровыми эжекторами. Это связано с тем, что для работы водяных эжекторов расходуется большое количество электроэнергии, и большое количество чистого пара теряется при циркуляции тепла.

При установке трехступенчатых паровых эжекторов типа ЭП-3-700-1 в качестве основных и паровых эжекторов типа ЭП-1-1100-1 в качестве рабочих, электроэнергия, используемая на собственные нужды электростанции, будет снижена на энергоблоке № 8 Марьинской ГРЭС и это позволит сохранить пары в паровоздушной смеси, поступающей из конденсатора, путем их конденсации перед выбросом в атмосферу. Это, в свою очередь, позволит еще больше повысить эксплуатационную надежность и эффективность энергоблоков. На 8-м энергоблоке Марьинской ГРЭС в качестве основных эжекторов используются водяные эжекторы типа ЭВ-7-1000.

Водяные эжекторы ЭВ-7-1000 состоят из корпуса, сопла, диффузора, выходного патрубка и камеры смешивания, как и все эжекторы. В рабочую часть сопла эжектора подается определенная часть технической охлаждающей воды энергоблока, т. е. $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. С помощью мощных водяных насосов со специальным электродвигателем, давление воды повышается до $p = 3,4 \text{ бар}$. Выход эжекторов расположен на высоте 5–7 м, наполнен водой под атмосферным давлением. Вода, проходя через сопло эжектора, с большой скоростью уносит паровоздушную смесь в конденсатор через камеру смешения. Несконденсированная паровоздушная смесь в конденсаторе смешивается с технической водой,

содержащей рабочее тело, через выход эжектора и выбрасывается в окружающую среду. Пары паровоздушной смеси, выбрасываемые в окружающую среду, являются чистыми парами в энергетическом цикле. Для работы водяных эжекторов ЭВ-7-1000 = 630 кВт = 0,63 требуется также МВт. Это приводит к увеличению электроэнергии, потребляемой электростанцией в час на собственные нужды для работы водяных эжекторов. Например, если мощность, необходимая для собственных нужд энергоблока $N_{сн} = 10000 \text{ кВт} = 10 \text{ МВт}$, то часть мощности, необходимая для собственных нужд энергоблока для работы водяных эжекторов, будет иметь следующее процентное значение

$$x = \frac{N_e^{БЭЖ}}{N_{сн}} \cdot 100 \% = \frac{0,63}{10} \cdot 100 \% = 6,3 \%$$

То есть на работу водяных эжекторов в час расходуется 6,3 % частного энергопотребления энергоблока. Это, в свою очередь, приводит к сжиганию дополнительного избыточного топлива для производства избыточной энергии.

На тепловых электростанциях средний расход топлива на производство 1 кВт ч электроэнергии в энергоблоке равен $b = 0,487 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$. Таким образом, расход топлива на производство $N_e^{БЭЖ} = 630 \text{ кВт}$ мощности будет равен следующей величине

$$B = b \cdot N_e^{БЭЖ} = 0,487 \cdot 630 = 306,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В час расходуется 6,3 % частного энергопотребления энергоблока. Это, в свою очередь, приводит к сжиганию дополнительного избыточного топлива для производства избыточной энергии.

То есть, если экономить электроэнергию, потребляемую электростанцией на собственные нужды для работы водяных эжекторов, то и сжигание лишнего топлива будет сокращаться.

Наиболее широко используемые сегодня паровые эжекторы в качестве первичных эжекторов представляют собой многоступенчатые паровые эжекторы. Особенностью многоступенчатых паровых эжекторов является то, что они реализованы с пароохладителем на каждой ступени. Трехступенчатые эжекторы отличаются эксплуатационной надежностью и экономичностью и широко применяются. В каждой из ступеней многоступенчатых паровых эжекторов пары, смешанные с неконденсируемыми газами, отбираемыми из парового пространства конденсатора, непрерывно конденсируются в холодильниках и подаются из холодильников эжекторов в конденсаторосборник конденсатора. Паровые эжекторы многоступенчатые выполняются с рабочим паром для общехозяйственных нужд станции с помощью рабочего давления, равного 8 бар. Еще одним преимуществом многоступенчатых паровых эжекторов является то, что для их работы не требуется никакого дополнительного специального оборудования, как для водяных эжекторов.

Если для работы водяных эжекторов 8-го энергоблока Марьинской ГРЭС экономится мощность, необходимая для собственных нужд электростанции $N_e^{БЭЖ} = 630 \text{ кВт}$, то экономится и $B = 306,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ топлива, как видно из расчета.

При установке паровых эжекторов ЭП-3-700-1 вместо водяных эжекторов ЭВ-7-1000 на 8-й электростанции Марьинской ГРЭС электроэнергия, потребляемая электростанцией на собственные нужды, и чистый пар, уходящий из конденсационной системы без возврата в окружающую среду. Если потребляемая

мощность паровых эжекторов типа ЭП-3-700-1 $D_0^{\text{пэж}} = 700$ кг/ч рассмотрим количество электроэнергии, которую могут вырабатывать паровые эжекторы для собственных нужд

$$d_0 = \frac{D_0}{N_e} = \frac{640 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3} = 3 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Рассмотрим, какую энергию, используемую паровыми эжекторами для собственных нужд, может вырабатывать пар

$$N_e^{\text{пэж}} = \frac{D_0^{\text{пэж}}}{d_0} = \frac{700}{3} = 233 \text{ кВт}.$$

Мощность, которая экономится

$$N_e^{\text{эк}} = N_e^{\text{вэж}} - N_e^{\text{пэж}} = 630 - 233 = 397 \text{ кВт}.$$

Выводы

1. Уменьшится количество электроэнергии, потребляемой на собственные нужды электростанции.
2. Повысится эксплуатационная надежность паровой турбины.
3. Сократится количество дополнительного оборудования, необходимого для работы конденсационной системы.

Список цитированных источников

1. Гурбангулы Бердымухамедов На пути к новым вершинам развития. Избранные произведения. – Ашхабад : Главное архивное управление при Кабинете Министров Туркменистана, Архивы Президента Туркменистана. – 2012. – Т. 5.
2. Гурбангулы Бердымухамедов. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. – Ашхабад, 2010. – Т. I.
3. Гурбангулы Бердымухамедов. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. – Ашхабад, 2010. – Т. II.
4. Государственная программа энергосбережения на 2018–2024 годы. – Ашхабад, 2018.
5. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин. – М. : Энергетика. – 1982.
6. Турбины тепловых и атомных электрических станций / под ред. А. Г. Костюка, В. В. Фролова. – М. : МЭИ. – 2001.
7. Пароэжекторные вакуумные насосы / Гос. науч.-исслед. и проектн. ин-т нефтяного машиностроения Гипронефтемаш. – М., 2003.

References

1. Gurbanguly Berdymuhamedov na puti k novym vershinam razvitija. Izbrannye proizvedeni-ja. Tom 5. - Ashhabad: Glavnoe arhivnoe upravlenie pri Kabinete Ministrov Turkmenistana, Fond «Arhivy Prezidenta Turkmenistana», 2012.
2. Gurbanguly Berdymuhamedov. Gosudarstvennoe regulirovanie social'no-jekonomicheskogo razvitija Turkmenistana. Tom I. Ashhabad, 2010 g.
3. Gurbanguly Berdymuhamedov. Gosudarstvennoe regulirovanie social'no-jekonomicheskogo razvitija Turkmenistana. Tom II. Ashhabad, 2010 g.
4. «Gosudarstvennaja programma jenergoberezenija na 2018-2024 gody» Ashhabad, 2018.
5. Ryzhkin, V. Ja. Teplovyje jelektricheskie stancii. – M. Jenergetika, 1982.
6. Turbiny teplovyh i atomnyh jelektricheskih stancij / Pod redakciej Kostjuka A. G., Frolova V .V. «T » M.: Izdatel'stvo MJeI, 2001.
7. «Parojezhektornye vakuumnje nasosy» Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo i pro-ektnogo instituta neftjanogo mashinostroenija Giproneftemash. Moskva 2003 g.

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ ВОДНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО СЕЛЕКЦИОННО-ГИБРИДНОГО ЦЕНТРА «ЗАПАДНЫЙ»

Е. А. Урецкий, компетентный внештатный представитель Корпорации Hoffland Environmental Inc., USA, e-mail: euretsky@yandex.by

В. В. Мороз, к. т. н., доцент, зав. кафедрой природообустройства, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru

Реферат

В работе приведена классификация существующих систем водной мелиорации земель и их критический анализ. Показаны положительные и отрицательные стороны водной мелиорации и недопустимость полива мелиорируемых сельхозугодий недостаточно очищенными сточными водами животноводческих комплексов. Приведена разработанная авторами статьи эффективная технология очистки сточных вод крупного свиноводческого комплекса на 100 тысяч голов. Рассмотрен вариант предполагаемой ресурсосберегающей оборотной системы гидромелиорации на примере ОАО СПЦ «Западный».

Ключевые слова: мелиорация, осушение, орошение, сельскохозяйственные земли, гидротехнические сооружения, животноводческие комплексы, экология, вода.

ON THE ISSUE OF IMPROVING RESOURCE-SAVING REVERSAL HYDROMECLIORATION SYSTEMS BY EXAMPLE OPEN JOINT STOCK COMPANY HYBRID SELECTION CENTER «WESTERN»

E. A. Uretsky, V. V. Moroz

Abstract

The work provides a classification of existing systems of water land reclamation and their critical analysis. The positive and negative aspects of water reclamation and the inadmissibility of irrigating reclaimed farmland with insufficiently treated wastewater from livestock complexes are shown. An effective technology for treating wastewater from a large pig-breeding complex for 100 thousand heads, developed by the authors of the article, is presented. A variant of the proposed resource-saving recirculating hydro-reclamation system is considered using the example of JSC HSC «Zapadny».

Keywords: reclamation, drainage, irrigation, agricultural lands, hydraulic structures, livestock complexes, ecology, water.

Введение

В настоящее время развитие мелиорации земель в Республике Беларусь регламентируется целым рядом нормативно-правовых актов. Основными из них являются: Закон Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-3 «О мелиорации

земель» и государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы (подпрограмма 7 «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения»), в которой запланирована реконструкция осушительных, осушительно-увлажнительных систем и основных сооружений мелиоративных и водохозяйственных систем. На эти цели намерены выделить дополнительное финансирование.

Данные документы формулируют основную цель мелиорации земель в Республике Беларусь как устойчивое биосферно-совместимое повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий с устранением или исправлением неблагоприятных для хозяйственной деятельности природных условий.

Как известно, мелиорацией в Беларуси начали вплотную заниматься еще в 70-е годы прошлого века. Эта работа продолжалась почти 20 лет. Были вложены очень большие силы и средства. В итоге в Беларуси часть болот превратили в пахотные поля и возродили в значительной мере сельское хозяйство.

В настоящее время примерно 35 процентов всех сельхозугодий Беларуси – мелиорированные земли. Это почти 3 млн га. Основная часть – 80 % – сосредоточена в Брестской, Витебской, Гомельской и Минской областях. На этих землях производят треть растениеводческой продукции, в том числе, свыше половины зеленых кормов, необходимых для животноводства.

Правильно подобранные и грамотно осуществленные мелиоративные приемы в сочетании с высокотехнологичными агротехническими и организационно-хозяйственными мероприятиями позволяют не только существенно повысить плодородие почв, но и сохранить, и даже улучшить окружающую среду.

Авторами статьи рассмотрен вариант разработки ресурсосберегающей оборотной системы гидромелиорации на примере ОАО СПЦ «Западный».

Классификация существующих систем водной мелиорации земель приведена на рисунке 1, а предполагаемая упрощенная блок-схема ресурсосберегающей оборотной системы гидромелиорации на ОАО СПЦ «Западный» – на рисунке 2.

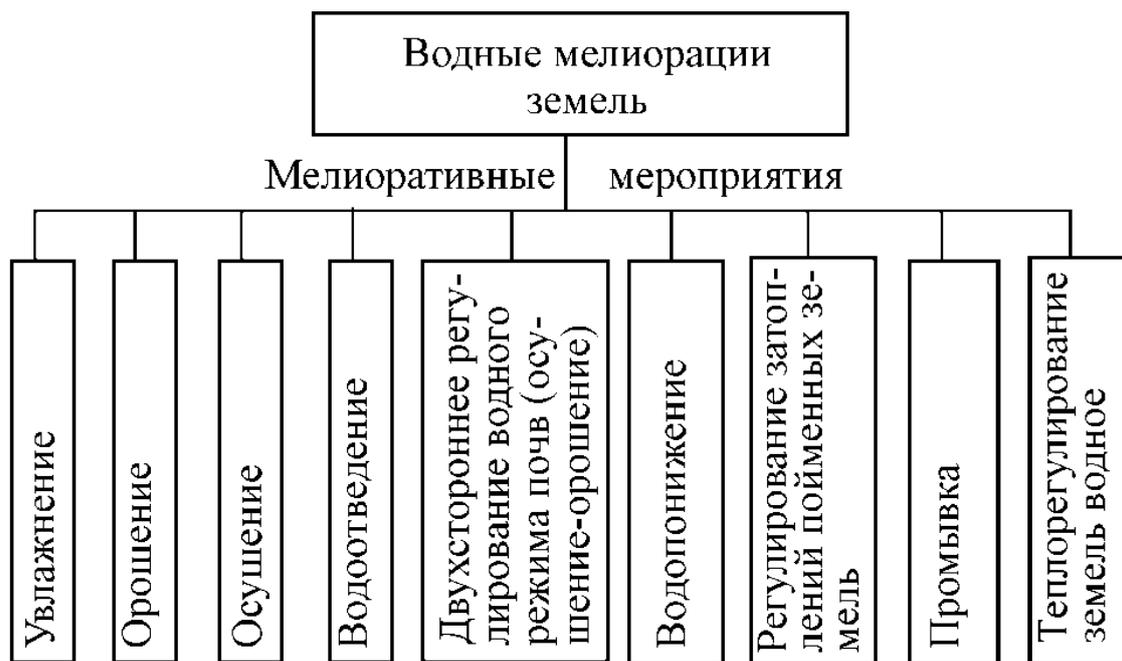


Рисунок 1 – Классификация водных мелиораций земель по мероприятиям

Недостатки системы водной мелиорации земель ОАО СГЦ «Западный» во многом характерны для других сельхозпредприятий Беларуси.

1. Отсутствие узла доочистки дренированных вод от внесенных в почву удобрений, гербицидов и других токсичных химикатов. Полив загрязненной ими водой с каждым циклом приводит к аккумуляции в растительном слое веществ, делая непригодной выращенную на этой почве сельскохозяйственную продукцию из-за превышения в них ингредиентов выше ПДК, установленного контролирующими органами.

2. Сброс неочищенных дренированных вод в водные источники приводит:

– к осушению плодородного слоя и, соответственно, унесения его в виде пыльных бурь;

– обмелению рек, питающихся водами осушаемых болот и, соответственно, к ограничению уровня судоходства по ним;

– существенному уменьшению рыбных запасов;

– высыханию растительности по берегам рек.

3. Изменение гидрологического режима почвы. В результате осушительных работ и прокладки устройств для водораспределения, происходит снижение уровня грунтовых вод. Это может привести к обезвоживанию почвы и ухудшению ее плодородия.

4. Нарушение биологического баланса. Оно может привести к гибели ряда видов флоры и фауны. Определенные виды растений и животных могут не справиться с измененными условиями, что приведет к уменьшению их численности или полному исчезновению.

Для снижения негативного воздействия сточных вод животноводческого комплекса ОАО СГЦ «Западный» на систему гидромелиорации этого предприятия авторы разработали рациональную технологию очистки сточных вод этого комплекса.

В Республике Беларусь построено и эксплуатируется большое количество животноводческих комплексов, основанных на применении прогрессивных поточных технологий производства мяса. Применяемое при этом гидросмывное удаление навоза из животноводческих помещений привело к образованию значительных объемов высококонцентрированных навозных сточных вод, представляющих серьезную опасность для окружающей природной среды.

Так, по данным [1], ежегодно животноводческие комплексы республики вносят в окружающую среду несколько миллионов метров кубических сточных вод. Основной формой их утилизации является полив, причем безо всякой предварительной очистки и дезинфекции.

Это обусловило значительное загрязнение почв многих районов, прилегающих к комплексам аминами, нитритами, нитратами, калием, фосфором и рядом других веществ, а также патогенными микроорганизмами. Причем сточные воды животноводческих комплексов загрязняют почвы водорастворимыми и обменными формами вышеназванных элементов, поэтому они легко проникают на глубину до 40 см и достигают максимума концентрации в компостном слое. С течением времени загрязнение делает почвы полностью непригодными к сельскохозяйственному использованию. Почвенно-геохимические аномалии простираются на 3–5 км от животноводческих комплексов и имеют постоянную

тенденцию к расширению. Полученные с этих земель корма и другая сельскохозяйственная продукция отличаются высоким содержанием нитратов и по санитарно-гигиеническим нормам являются непригодными для их использования [2].



Рисунок 2 – Блок-схема ресурсосберегающей оборотной системы

Наиболее тяжелая ситуация складывается при размещении животноводческих комплексов в районах с неблагоприятными климатическими и гидрогеологическими условиями при необходимости прямого сброса очищенных сточных вод в естественные водоемы, так как применяемые методы биологической очистки сточных вод не позволяют достичь требуемую в этом случае степень удаления органических загрязнений.

Таким образом, существует неотложная необходимость в разработке и ускоренном освоении новых высокоэффективных технологий очистки сточных вод животноводческих комплексов. Ключевым звеном в решении вопроса биологической очистки этих сточных вод является предварительное удаление аммонийного азота, оказывающего крайне негативное воздействие на ход биологических процессов.

Торможение этого процесса аммонийным азотом связано с наличием в воде свободного аммиака, ядовитого для микроорганизмов. Концентрация свободного аммиака основана на аммонийном равновесии



По данным ВНИИ ВОДГЕО, свободный аммиак ингибирует *Nitrosomonas* при концентрации от 10 до 150 мг/л и *Nitrobakter* при концентрации свыше 1 мг/л. Среднее же содержание ионов аммония в неочищенных сточных водах,

наиболее опасных из животноводческих комплексов (свинокомплексов), колеблется в пределах 400–1200 мг/л.

С одной стороны, сточные вода свинокомплексов характеризуются высокими концентрациями загрязнений, наличием большого количества патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов, и поэтому представляют серьезную угрозу для окружающей природной среды. С другой стороны, эти сточные воды имеют высокую агрономическую ценность, так как в них содержится большое количество органических веществ и биогенных элементов. Как известно, годовое количество сточных вод свиноводческого комплекса мощностью 108 тыс. голов составляет более 1 млн м³. При этом в них содержится 730 т азота, 300 т фосфора, 360 т калия [2]. По количеству содержащихся в них загрязнений сточные воды такого комплекса эквивалентны хозяйственно-бытовым стокам города с населением 460–640 тыс. чел.

Большинство разработанных и предложенных методов удаления аммонийного азота из сточных вод, таких как отдувка в щелочной среде, ионный обмен, нитрификация/денитрификация, биологическая очистка с использованием симбиотического активного ила и др. приводят к безвозвратной потере аммонийного азота и поэтому не могут быть использованы в технологиях, обеспечивающих его эффективную утилизацию. Помимо этого подобные методы дороги, энергоемки, требуют сложного аппаратного оформления и дефицитных комплектующих. Оптимальный метод удаления аммонийного азота из сточных вод, разработанный авторами, основан на его взаимодействии с солями ортофосфорной кислоты и в присутствии ионов магния.

Зависимость удаления аммонийного азота от доли введенного двойного суперфосфата приведена на рисунке 3.

Эффективность удаления
аммонийного азота NH₄⁺, %

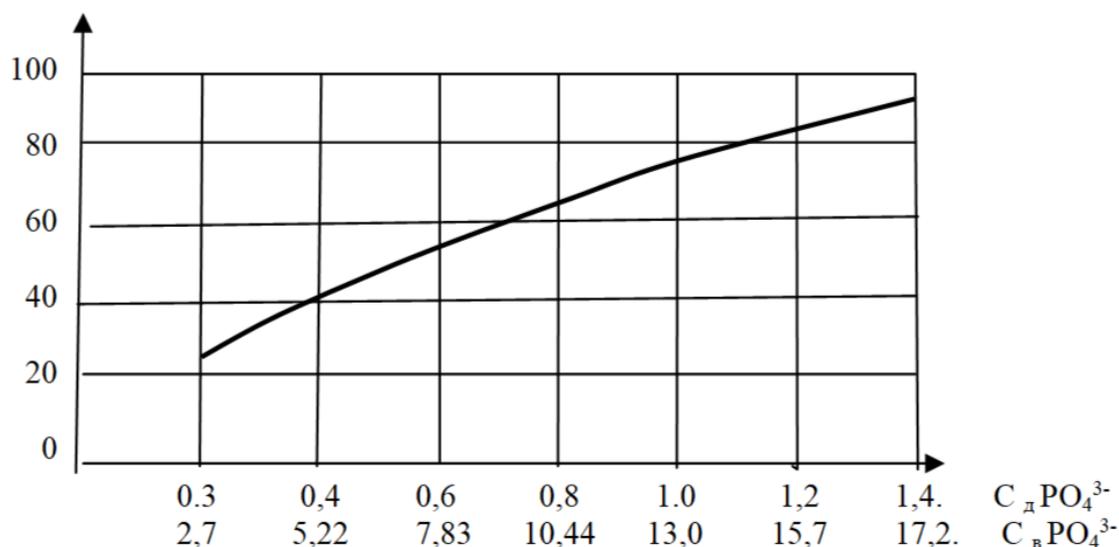


Рисунок 3 – Зависимость удаления аммонийного азота от доли введенного двойного суперфосфата

Примечания: 1. C_dPO₄³⁻ – доля PO₄³⁻ – от стехиометрической.

2. C_vPO₄³⁻ – доля PO₄³⁻ – отношение весовой части продукта к 1 весовой части NH₄⁺.

В процессе такого взаимодействия образовывается слабо растворимый ортофосфат магния – аммония, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (струвит), который является ценным комплексным удобрением [3–8]. При этом эффективность удаления аммонийного азота составляла 85–92 %.

Одновременно с высокой степенью очистки этот способ дает возможность утилизировать используемые реагенты, извлеченный аммонийный азот и другие биогенные элементы и органические вещества, в больших количествах присутствующие в сточных водах животноводческих комплексов и в особенности свиноводческих комплексов.

Из агрономии известно, что все компоненты этого удобрения находятся в доступной для растений форме. Оно может вноситься без ограничений под все сельскохозяйственные культуры. Причем ортофосфат магния – аммония рекомендуется применять на сильнокислых и слабокислых почвах, при орошаемом земледелии [3, 4, 5]. Это особенно важно для Республики Беларусь, где в основном почвы кислые.

Способ получения «струвита» был использован Транснациональными компаниями Hoffland Environmental, Inc. и AETE International, Inc. (США) совместно с авторами статьи для создания рациональной технологий очистки сточных вод животноводческих комплексов, а также для технико-коммерческого предложения на поставку технологического оборудования для животноводческого комплекса ОАО СГЦ «Западный» в д. Большие Мотыкалы Республики Беларусь Брестской области по выделению биомассы и удаления аммонийного азота с целью доведения сточных вод до уровня сброса в водоемы и увеличения производительности существующей биогазовой установки с 200 кВт/ч до 1000 кВт/ч [8].

Существующая схема очистных сооружений показана на рисунке 4. Она находилась в неработоспособном состоянии. Упрощенная схема рациональной обработки сточных вод с добавлением блока, содержащего высокие концентрации аммиака, показана на рисунке 5.

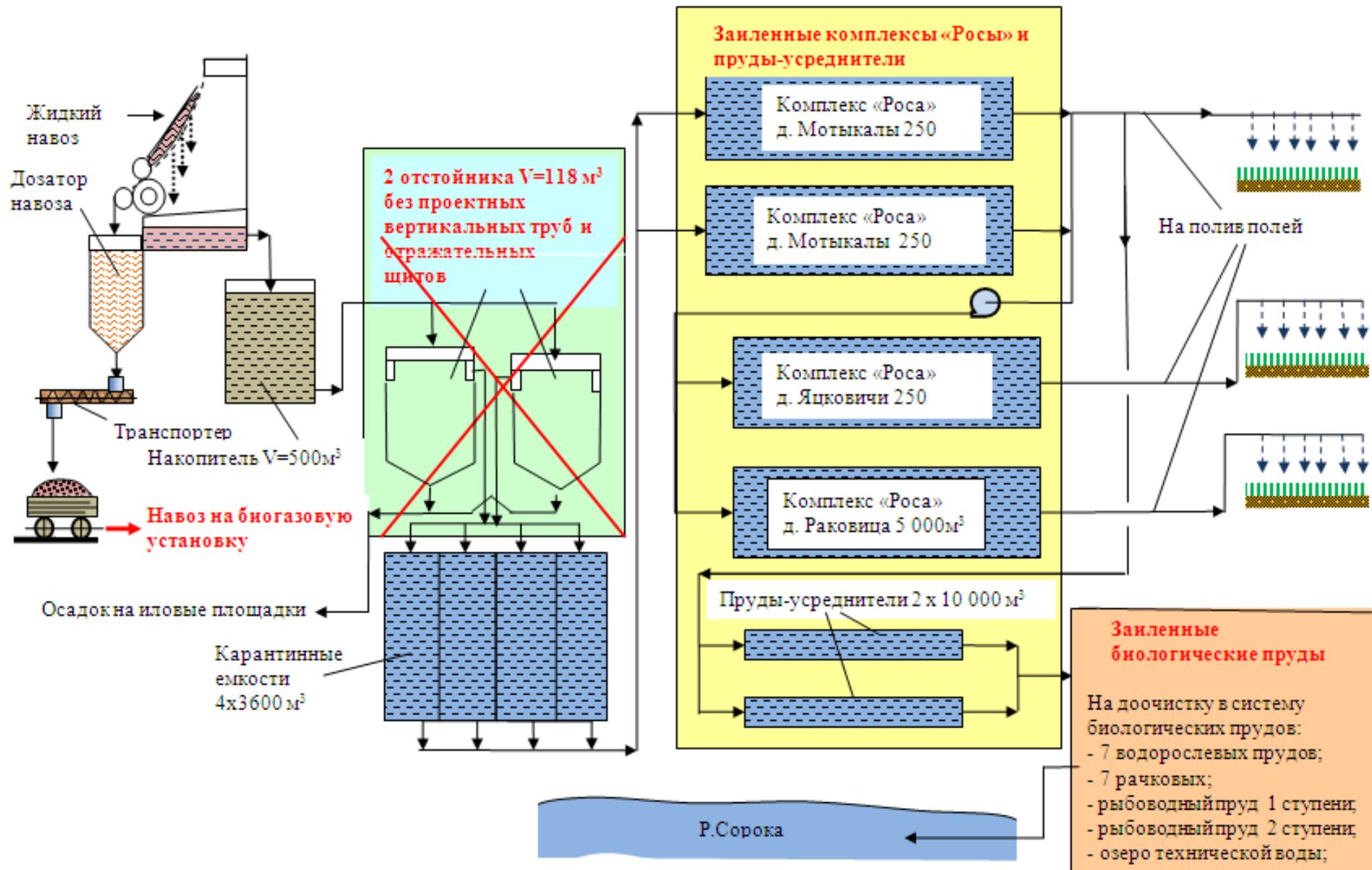


Рисунок 4 – Существующая упрощенная схема обработки сточных вод животноводческого комплекса ОАО СГЦ «Западный»

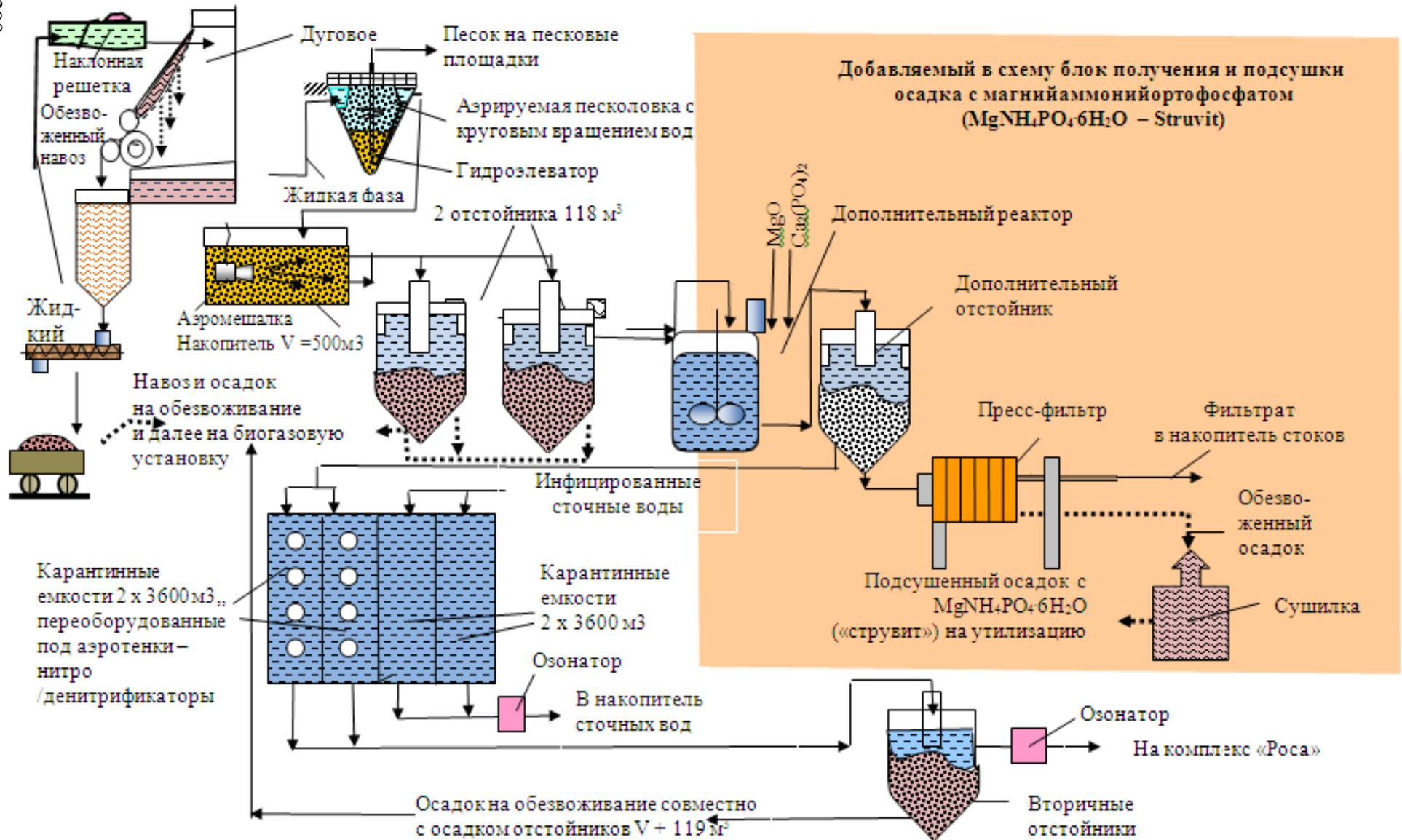


Рисунок 5 – Упрощенная схема рациональной обработки сточных вод с добавлением блока, содержащего высокие концентрации аммиака

В нее добавлены:

– реконструированные вертикальные отстойники с проектной эффективностью осветления сточных вод не выше 60 %. В них за счет дополнительного монтажа полочных модулей и установки в вертикальные подающие трубы встроенных камер хлопьеобразования стало возможным достигнуть увеличения эффективности осветления сточных вод в этих сооружениях до 90 %;

– наклонная решетка и аэрируемые песколовки, которые обеспечили предварительное удаление из сточных вод крупных отбросов и значительную часть песчаных загрязнений;

– погружные аэрационные установки, опущенные в накопительный резервуар для предотвращения выпадения на дно резервуара тяжелой взвеси, а также предварительной аэрации и начала процесса нитро/денитрификации;

– переоборудованные с помощью поплавковых аэраторов в аэротенки нитро/денитрификаторы две карантинные емкости;

– блок получения и подсушки осадка с магнийаммонийортофосфатом $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (струвит) для использования его в качестве удобрения под различные сельскохозяйственные культуры, а также раскисления почвенного слоя;

– озонаторные установки для дезинфекции сточных вод.

Заключение

1. При создании оборотных систем гидромелиорации необходим узел доочистки дренированных вод от внесенных в почву удобрений, гербицидов и других токсичных химикатов с проведением для этого соответствующих исследований. Полив загрязненной ими водой с каждым циклом приводит к аккумуляции в растительном слое перечисленных выше химикатов, делая непригодной полученной на этой почве сельскохозяйственной продукции из-за превышения в них ингредиентов выше ПДК.

2. Недопустим полив сельскохозяйственных угодий недостаточно очищенными сточными водами животноводческих комплексов, загрязненными высокими концентрациями солей аммония, нитритами, нитратами, фосфором и другими токсичными соединениями.

3. Мелиорация как агротехническая практика, помимо положительных моментов, вносит серьезные негативные последствия для биоразнообразия окружающей среды. Она приводит к разрушению и изменению природных экосистем, что негативно сказывается на местном видовом составе и сокращает численность многих организмов. Из-за мелиорации гибнут редкие и защищенные виды, которые не могут приспособиться к новым условиям, созданным человеком.

4. Разработка систем дренажа и искусственного полива приводит к изменению гидрологических режимов почв, сокращению площадей плавниковых зон и затопляемых углублений, что негативно сказывается на многих водных организмах.

Список цитированных источников

1. Ибрагимов, А. Г. Животноводство и окружающая среда / А. Г. Ибрагимов, В. Г. Борulyко, И. А. Лукьянова. – М. : Аграрная наука, 2021. – С. 46–49.

2. Челноков, А. А. Состояние природной среды Беларуси и пути ее улучшения : справочное пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, М. Е. Фридлянд. – Минск. : Минский экологический совет, 2000. – 52 с.
3. Кочетков, В. Н. Фосфорсодержащие удобрения / В. Н. Кочетков. – М. : Химия, 1982. – 400 с.
4. Петербургский, А. В. Система применения удобрений / А. В. Петербургский – М. : Колос, 1984. – 272 с.
5. Павлюченко, М. М. Полифосфаты и минеральное питание растений / М. М. Павлюченко, В. М. Терентьев, Е. А. Продан [и др.]. – Минск. : Наука и техника, 1978. – 231 с.
6. Продан, Е. А. Стабильность и реакционная способность фосфорных солей / Е. А. Продан, В. В. Самускевич / Минск. : Наука и техника, 1994.
7. Факеев, А. А. Методы получения и очистки фосфатов элементов II группы периодической системы Д. И. Менделеева : Серия Реактивы и особо чистые вещества / А. А. Факеев, Т. В. Хомутова, А. С. Быковская [и др.]. – М. : НИИТЭХИМ, 1983. – 68 с. (Обзор информ.).
8. Урецкий, Е. А. К вопросу очистки сточных вод животноводческого комплекса / Е. А. Урецкий // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2006. – № 2. – С. 73–75.

References

1. Ibragimov, A. G. Zhivotnovodstvo i okruzhajushhaja sreda / A. G. Ibragimov, V. G. Borul'ko, I. A. Luk'janova. – М. : Agrarnaja nauka (10). 2021. – С. 46-49.
2. Chelnokov, A. A. Sostojanie prirodnoj sredy Belarusi i puti ejo uluchshenija (spravochnoe posobie) / A. A. Chelnokov, L. F. Jushhenko, M. E. Fridljand. – Minsk. : Minskij jekologicheskiy sovet, 2000. – 52 s.
3. Kochetkov, V. N. Fosforsoderzhashhie udobrenija / V. N. Kochetkov. – М. :Himija, 1982. – 400 s.
4. Peterburgskij, A. V. Sistema primenenija udobrenij / A. V. Peterburgskij – М. : Kolos, 1984. – 272 s.
5. Pavljuchenko, M. M. i dr. Polifosfaty i mineral'noe pitanie rastenij / M. M. Pavljuchenko, V. M. Terent'ev, E. A. Prodan i dr. – Minsk. : Nauka i tehnika, 1978. – 231 s.
6. Prodan, E. A. Stabil'nost' i reakcionnaja sposobnost' fosfornyh solej / E. A. Prodan, V. V. Samuskevich / Minsk. : Nauka i tehnika, 1994.
7. Fakeev, A. A. i dr. Metody poluchenija i ochistki fosfatov jelementov II gruppy periodicheskoj sistemy D.I.Mendeleeva: Obzor inform. Ser. «Reaktivy i osobo chistye veshhestva» / A. A. Fakeev, T. V. Homutova, A. S. Bykovskaja i dr. – М. : НИИТЭХИМ, 1983. – 68 s.
8. Ureckij, E. A. K voprosu ochistki stochnyh vod zhivotnovodcheskogo kompleksa / E. A. Ureckij // Vestnik BrGTU. Serija: Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo i teplojenergetika. – 2006. – № 2. – S. 73–75.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ И ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Сборник статей
международной научно-практической конференции
Часть 1

Ответственный за выпуск: Шалобьта Н. Н.
Редактор: Винник Н. С.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.
Корректор: Северянина А. Г.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 3/1569 от 16.10.2017 г.

Подписано в печать 20.12.2024 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 17,09. Уч. изд. л. 18,38. Заказ № 1250.

Тираж 166 экз. Печать цифровая. Изготовлено
и отпечатано в типографии учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-644-4



9 789854 936444

