

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 3 (99) май–июнь 2024



**ПМЭФ'24**  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ



**12** Стратегическое  
стр. взаимодействие  
Беларуси и России  
выходит на новый  
уровень



Электроэнергетический Совет  
Содружества Независимых Государств



**30tibo**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИКТ ФОРУМ

**53** Инструменты  
стр. предотвращения  
ошибок персонала  
Белорусской АЭС

**32** Цифровое будущее  
стр. начинается сегодня

ISSN 2310 - 6735

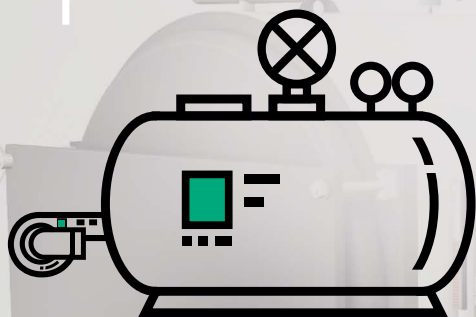


9 772310 673007



+375 (17) 388-75-05 +375 (29) 388-75-05

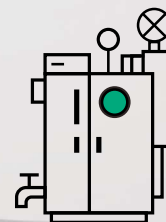
Г. МИНСК, 1-Й ТВЕРДЫЙ ПЕРЕУЛОК, 7/1



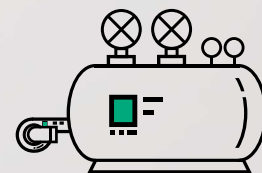
ПАРОВЫЕ  
КОТЛЫ



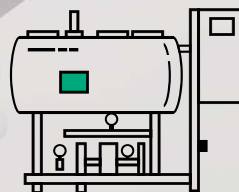
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
ПАРОГЕНЕРАТОРЫ



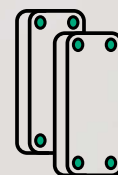
ГАЗОВЫЕ  
ПАРОГЕНЕРАТОРЫ



ВОДОГРЕЙНЫЕ  
КОТЛЫ



ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ  
КОТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



ТЕПЛОБМЕННЫЕ  
АППАРАТЫ

УНП 192001685

ТЭО

ПОСТАВКА

МОНТАЖ

ПНР

ТО

Белорусский производитель  
кабельной продукции

210036, г. Витебск  
Московский пр-т, 94Б

УНП 300528652

Лидер  
отрасли

vikab.by

+375 (17) 215-04-35  
+375 (17) 215-04-65  
+375 (212) 48-01-12



Учредитель  
**МИНИСТЕРСТВО  
ЭНЕРГЕТИКИ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Редакционная коллегия:**

- Мороз Д.Р.**, к.т.н., доцент, заместитель Министра энергетики Республики Беларусь (председатель)
- Реентович С.В.**, заместитель Министра энергетики Республики Беларусь (заместитель председателя)
- Бондарь А.М.**, первый заместитель генерального директора – главный инженер атомной электростанции республиканского унитарного предприятия «Белорусская атомная электростанция»
- Грунтович Н.В.**, д.т.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика и эффективное использование ТЭР» УО «ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»
- Дрозд П.В.**, генеральный директор ГПО «Белэнерго»
- Жемжуров М.Л.**, д.т.н., доцент, заведующий лабораторией ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси
- Закревский В.А.**, к.т.н., директор Департамента энергетики Евразийской экономической комиссии
- Карницкий Н.Б.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» БНТУ
- Ковалев Д.В.**, заместитель генерального директора по оперативной работе – главный диспетчер ГПО «Белэнерго»
- Кушнаренко А.И.**, генеральный директор ГПО «Белтопгаз»
- Майоров В.В.**, генеральный директор ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»
- Пенязьков О.Г.**, д.ф.-м.н., академик НАН Беларуси, директор Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
- Прищепов М.А.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» БГАТУ
- Рыков А.Н.**, к.т.н., заместитель главного инженера по тепломеханической части РУП «Белнипиэнергопром»
- Седнин В.А.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» БНТУ

Издатель: открытое акционерное общество «Экономэнерго»

**Редакция:**

<b>Главный редактор</b>	Федосеенко Н.В.
<b>Зам. главного редактора</b>	Гончар О.В.
<b>Выпускающий редактор</b>	Моисеева Е.Н.
Редактор	Лемехова Д.Д.
Компьютерный дизайн и верстка	Кошель М.В. Яценко О.А.
Реклама	Тропашко С.А.

По вопросам размещения рекламы обращайтесь по тел.:

+375 17 2860828, +375 29 3991104, +375 33 3191104

Адрес редакции: 220088, г. Минск, ул. Захарова, 59.  
Т/ф: +375 17 2860828, +375 17 2934682, +375 29 3991104, +375 33 3191104  
e-mail: oao@economenergo.datacenter.by, 2934682@mail.ru  
www.energystrategy.by

Цена свободная. Свидетельство о регистрации журнала № 931 от 27.08.2010.

Отпечатано ООО «НАВИТЕХ». ТМ «ГРАДИЕНТ». Свидетельство о ГРИИРПИ №2/194 от 23.02.2017г. Республика Беларусь, 220024, г. Минск, ул. Бабушкина, 6А, к. 204. Подписано в печать 20.06.2024 г., формат 60x90/4, тираж 1370 экз., заказ № 2818.

© ОАО «Экономэнерго», 2024



## НОВОСТИ

- 2 Государство и общество
- 4 ТЭК Беларуси
- 7 Мировая энергетика

## ПРИОРИТЕТЫ

- 10 Виктор Каранкевич: «Ядерная и радиационная безопасность остаются безусловным приоритетом»
- 12 ПМЭФ-2024: формирование новых точек роста  
*По итогам XXVII Петербургского международного экономического форума*

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- 15 Применение ВЛ с изолированными проводниками в условиях лесных массивов  
*И.В. Цуран*
- 17 Особенности использования силового кабеля с монолитной жилой  
*С.С. Красновский, В.П. Кубарко*
- 21 Несовершенство методики вибродиагностирования подшипников качения  
*Н.В. Грунтович, С.В. Короткевич, И.В. Петров*
- 27 БЭРН. Нарращиваем экспортный потенциал
- 30 Дорога длиной в 80 лет  
*К юбилею Борисовских электросетей*

## ВЫСТАВКИ, СЕМИНАРЫ, КОНФЕРЕНЦИИ

- 32 ТИБО-2024: цифровое будущее начинается сегодня

## МНЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА

- 34 Единая терминология – основа решения проблемы машинного понимания в системах искусственного интеллекта  
*А.Я. Савастийёнок*

## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГОГАЗНАДЗОР

- 37 Реализация пилотного проекта по переводу потребителей на электроотопление  
*Д.Е. Мастепанов, Н.Н. Киселев*

## НАУКА – ЭНЕРГЕТИКЕ

- 39 Использование алюмосиликатных сорбентов для очистки модельных растворов, имитирующих жидкие радиоактивные отходы АЭС  
*Т.Г. Леонтьева, Л.Н. Москальчук, А.А. Баклай*
- 44 Модель схемы замещения трансформатора при межвитковых замыканиях  
*А.В. Дробов, В.Н. Галушко, И.Л. Громыко*

## БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

- 49 Культура физической ядерной безопасности. Часть 2  
*О.Б. Гурко, Т.Н. Корбут, М.А. Козел, Л.Г. Лукашевич, И.А. Рымарчик*
- 53 Инструменты предотвращения ошибок персонала Белорусской АЭС  
*А.С. Гаев*

## ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- 57 Практика применения коррекционно-обучающего тренинга эмоциональной устойчивости методом биологической обратной связи  
*И.Ф. Курилович, В.А. Гончар*

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ПРАВО

- 60 Требования промышленной безопасности к средствам измерений на объектах газораспределительной системы и газопотребления  
*В.И. Поляков, О.Е. Полякова, А.Г. Радовня*
- 64 Введены новые правила технического обслуживания устройств РЗА электростанций и подстанций 110–750 кВ  
*Н.П. Пашкович, А.Н. Мешкова*
- 66 Новости законодательства (май–июнь)

# ГОСУДАРСТВО И ОБЩЕСТВО

## Главы России и Беларуси обсудили приоритеты сотрудничества

24 мая в Минске в рамках визита в Беларусь В.В. Путина во Дворце Независимости состоялись официальные переговоры президентов Республики Беларусь и Российской Федерации как в узком, так и в расширенном составах. Главы государств обменялись мнениями по наиболее чувствительным вопросам двусторонней повестки, от которых зависят стабильное развитие государств и состояние их экономик. Президенты также затронули международную ситуацию, обсудили варианты реагирования на риски и угрозы, возникающие по периметру границ.

В.В. Путин положительно оценил уровень взаимодействия в экономике и поздравил Беларусь с успешным экономическим развитием, с тем, насколько уверенно страна себя чувствует и крепко стоит на ногах.

В ходе переговоров в расширенном составе были подробно рассмотрены вопросы взаимодействия в сфере промышленности, транспорта и логистики, импортозамещения, межрегионального сотрудничества и ряд других. Среди приоритетов сотрудничества в рамках Союзного государства особое место занимает энергетика. «От нее зависят ритмичная работа промышленности, стоимость конечной продукции, – отметил лидер Беларуси. – Необходимо окончательно согласовать условия поставок нефти и газа в Республику Беларусь».

Беларусь готова также продолжать работу с российскими компаниями в сфере атомной энергетики. Опыт



возведения Белорусской АЭС открыл новые возможности для дальнейшего освоения этих технологий, подготовки квалифицированных кадров и совместного строительства таких объектов в третьих странах.

Общаясь с журналистами по итогам переговоров, А.Г. Лукашенко отметил заметный подъем в белорусско-российских отношениях. «Уровень взаимодействия и доверия между нашими странами во всех сферах действительно беспрецедентный, – подчеркнул белорусский лидер. – Мы можем уверенно констатировать, что экономики Беларуси и России динамично развиваются, несмотря на разного рода препятствия».

## ВНС должно решать стратегические вопросы



23 мая Президент Беларуси, председатель Всебелорусского народного собрания А.Г. Лукашенко обсудил с заместителем председателя ВНС А.Н. Косинцом и начальником Секретариата ВНС В.В. Мицкевичем вопросы деятельности Всебелорусского народного собрания.

Президент отметил, что ВНС – это «некое политическое ядерное оружие, которое используется в исключительных случаях». Оно должно принимать решения только стратегического характера и не подменять другие органы власти.

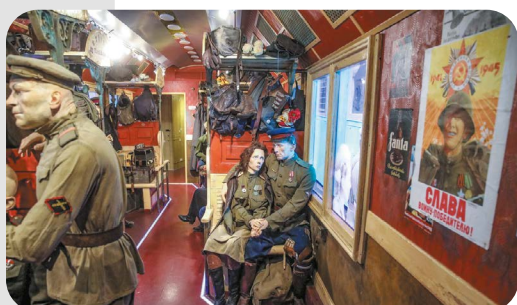
Деятельность делегатов ВНС будет строиться на постоянной основе. Планируется образовать 10 делегаций, в том числе от Правительства (под руководством Премьер-министра), от регионов, от Парламента и местных советов депутатов, от судебной власти.

Всебелорусское народное собрание проводится в Беларуси с 1996 года. После референдума в 2022 году ВНС получило новые полномочия. Его компетенция определена Конституцией и Законом Республики Беларусь от 7 февраля 2023 года № 248-3 «О Всебелорусском народном собрании».

24–25 апреля 2024 года состоялось VII Всебелорусское народное собрание, которое впервые прошло в новом статусе, закрепленном Конституцией. Его решениями утверждены Концепция национальной безопасности Республики Беларусь и Военная доктрина Республики Беларусь



# Беларусь помнит



3 июля 2024 года Беларусь отмечает 80 лет со дня освобождения от немецко-фашистских захватчиков.

22 июня 1944 года началась операция «Багратион» – одна из крупнейших военных операций в истории человечества, в результате которой территория БССР была полностью очищена от оккупантов. Это стало возможным благодаря героизму и самопожертвованию сотен тысяч воинов Красной армии, партизан и подпольщиков, а также упорному труду советских граждан в тылу.

3 июля войсками четырех фронтов был освобожден Минск. Эта дата стала для белорусов символом свободы и мира. В 1996 году по итогам республиканского референдума было принято решение об установлении нового государственного праздника – Дня Независимости. Решение было утверждено Декретом Президента Республики Беларусь от 11 декабря 1996 года № 1. С тех пор ежегодно 3 июля в стране отмечается День Независимости Республики Беларусь (День Республики).

Марафон мероприятий, посвященных 80-летию освобождения, начался задолго до события. В рамках белорусско-российского проекта «Поезд Памяти» уникальный музей на колесах побывал во многих городах Беларуси. К юбилейной дате были приурочены республиканские акции «Никто не забыт, ничто не забыто», «Беларусь помнит», «Места памяти», «История Победы в моей семье» и ряд других.

В связи с 80-й годовщиной освобождения страны от немецко-фашистских захватчиков Указом Президента Республики Беларусь от 2 февраля 2024 года. № 44 семь городов и два городских поселка награждены вымпелом «За мужество и стойкость в годы Великой Отечественной войны». Ранее такой наградой были отмечены 27 населенных пунктов республики.

В честь знаменательного события по всей стране проходят концерты, возложения венков к мемориалам и памятникам воинской славы, чествования ветеранов, творческие конкурсы и другие мероприятия.

**Освобождение Беларуси было и остается важнейшей вехой в истории нашего государства, символом всенародного сопротивления, жертвенного служения и несгибаемого мужества.**

# ТЭК БЕЛАРУСИ

## Беларусь ратифицировала протокол, продлевающий гарантийный срок эксплуатации оборудования БелАЭС

Беларусь ратифицировала протокол о внесении изменений в межправсоглашение с Российской Федерацией о сотрудничестве в строительстве атомной электростанции от 15 марта 2011 года, подписанный в Минске 2 ноября 2023 года.

Согласно протоколу, установленный соглашением двухлетний гарантийный срок эксплуатации оборудования может быть продлен на больший период. Для отдельного оборудования может быть установлен более длительный гарантийный срок эксплуатации. Кроме того, соглашение предусматривает, что порядок формирования цены на ядерное топливо и условия его поставки согласовываются российскими и белорусскими компетентными органами.

## Эксперты ВАО АЭС-МЦ посетили Белорусскую атомную электростанцию

15–31 мая представители Московского центра Всемирной Ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (ВАО АЭС-МЦ), посетили Белорусскую АЭС. Эксперты совместили предварительный визит первой эксплуатационной партнерской проверки БелАЭС и наблюдение за работой персонала блочных пультов управления на полномасштабном тренажере учебно-тренировочного центра. В рамках мероприятий проведено обучение персонала методологии и практическим подходам к выработке навыков действий в сложных имитированных сценариях в условиях нормальной эксплуатации, при ее нарушениях и в аварийных ситуациях.



Эксперты также проверили внедрение на БелАЭС рекомендаций SOER (сообщения о важном опыте эксплуатации) и собрали предварительную информацию до начала партнерской проверки, которая состоится в марте 2025 года.

С 21 по 24 мая на Белорусской АЭС прошла международная встреча, организованная ВАО АЭС-МЦ. Ее участники обсудили подготовку ремонтного персонала, различные аспекты обслуживания и выполнения ремонтов

на АЭС, рассмотрели лучшие практики, в том числе белорусский опыт. В мероприятии приняли участие представители учебно-тренировочных подразделений АЭС России, Китая, Турции, Армении.

## Главы Минэнерго Беларуси и МИД Венгрии подписали меморандум об углублении сотрудничества в атомной энергетике



29 мая Министр энергетики Республики Беларусь Виктор Каранкевич и Министр иностранных дел и внешней торговли Венгрии Петер Сийярто подписали Меморандум о взаимопонимании по углублению сотрудничества в области атомной энергетике. Документ предусматривает взаимодействие сторон в атомной отрасли и смежных направлениях.

Министр выразил уверенность в том, что в целом белорусско-венгерское взаимодействие может успешно продвигаться не только в атомной энергетике, но и по неэнергетическим направлениям, которые Беларусь развивает совместно со стратегическим партнером – Госкорпорацией «Росатом».

В тот же день в Минэнерго была подписана дорожная карта сотрудничества АЭС Беларуси и Венгрии. Подписи под документом поставили генеральный директор РУП «Белорусская атомная электростанция» Сергей Бобович, генеральный директор ЗАО «АЭС Пакш II» Гергей Якли и заместитель генерального директора по техническим вопросам ЗАО «МВМ АЭС Пакш» Пал Тот. Дорожной картой определены основные направления совместной работы на 2024–2025 годы, в том числе в сфере подготовки персонала, подготовки и проведения плановых ремонтов оборудования, обращения с радиоактивными отходами.

## Стартовала регистрация паспортов готовности к осенне-зимнему периоду

В Беларуси началась регистрация паспортов готовности к осенне-зимнему периоду. Первыми паспорта готовности получили потребители тепловой энергии и ведомственные теплоисточники Гродненской области.

При оценке готовности объектов к отопительному сезону представители Госэнергонадзора особое внимание уделяют техническому состоянию тепломеханического оборудования и теплосетей, качеству проведения их гидравлических испытаний и промывки. На контроле также состояние запорной и регуливающей арматуры, изоляционного покрытия трубопроводов.

В этом году паспорта готовности должны получить около 30 тыс. потребителей тепловой энергии и свыше 10 тыс. ведомственных теплоисточников. Регистрация продлится по 30 сентября.

### Белорусские энергетики обсудили перспективы взаимодействия с системным оператором Казахстана

28–31 мая делегация ГПО «Белэнерго» под руководством заместителя генерального директора Андрея Шершеня посетила с рабочим визитом Республику Казахстан. В ходе переговоров с заместителем председателя правления АО «KEGOK» Бакытханом Жазыкбаевым стороны рассмотрели перспективы взаимодействия системно-сетевых операторов Казахстана и ГПО «Белэнерго» при формировании общего электроэнергетического рынка ЕАЭС и другие вопросы.

30–31 мая делегация ГПО «Белэнерго» также приняла участие в 126-м заседании Подкомитета по формированию общего электроэнергетического рынка ЕАЭС Консультативного комитета по электроэнергетике при Коллегии ЕЭК в г. Щучинске (Казахстан). Были рассмотрены актуальные вопросы интеграционного сотрудничества, а также приняты решения, отвечающие интересам белорусской стороны, по проектам договора о присоединении к общему электроэнергетическому рынку ЕАЭС и правил информационного обмена на этом рынке.

### Команды Беларуси вновь вошли в число призеров Лиги молодых специалистов СНГ чемпионата «CASE-IN»

28 мая в Москве в рамках XII сезона Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» состоялся финал Лиги молодых специалистов СНГ. В этом году кейс международной лиги был посвящен теме «Цифровая трансформация ТЭК СНГ в контексте бережливого производства: практические решения». Сильнейшими стали команды России и Беларуси, разработавшие мероприятия по повышению эффективности управления приоритетными активами объектов ТЭК в своих странах.

Второй год подряд в командном соревновании по решению инженерных кейсов призовые места занимают белорусские команды («ИИинженеры», команда РУП «Белэнергосеть-проект» – второе место, команда РУП «БЕЛТЭИ» – третье). Первое место в этом году заняла российская команда «СлавнефтьКНГ» (ООО «Славнефть-Красноярскнефтегаз»).

Участие в финале Лиги молодых специалистов СНГ приняли 11 команд, победивших на национальных отборочных этапах. Цель проекта – расширение международного сотрудничества в вопросах популяризации инженерно-техни-



ческих профессий, инженерного образования и развития новых технологий, а также укрепление горизонтальных связей и профессиональной осведомленности молодых специалистов стран Содружества.

### Разработан виртуальный голосовой помощник для информационной поддержки абонентов

Проект реализован филиалом ПУ «АйТиГаз» УП «Витебскоблгаз» в рамках повышения качества клиентского сервиса и расширения каналов самообслуживания. Виртуальный помощник с функциями распознавания и синтеза речи, а также автоматической обработки текстовых запросов получил имя «Алена». С его помощью абоненты смогут круглосуточно получать справочную информацию о предоставляемых услугах.

Пока виртуальный помощник работает в тестовом режиме. Он умеет отвечать на голосовые и текстовые сообщения по часто задаваемым вопросам. Если появляется необходимость что-то детализировать, звонок переводится операторам кол-центра.

Система, созданная с применением искусственного интеллекта, анализирует диалоги с клиентами, определяет ключевые темы обращений и эмоциональную окраску разговоров. Ее использование позволит повысить уровень автоматизации бизнес-процессов, оптимизировать расходы, улучшить эффективность работы с потребителями.

### Торфопредприятия наращивают поставки продукции в КНР

Организации ГПО «Белтопгаз» представили свою продукцию нетопливного назначения (верховой торф, питательные грунты, покровные грунты для выращивания шампиньонов) на 26-й Китайской международной выставке цветов и садоводства Hortiflorexpo IPM, которая состоялась в Пекине 23–25 мая.

На полях выставки было подписано соглашение о сотрудничестве с китайской компанией Heilongjiang Zhongju International Trade. Стороны договорились о партнерстве по вопросам увеличения поставок на китайский рынок белорусской торфопродукции: торфа верхового кипованного, питательных грунтов и субстратов. Планируется, что их отгрузку будут осуществлять ОАО «Торфопредприятие

Глинка», ПУ «Витебскторф», ОАО «Туршовка». Пробная партия продукции будет закуплена китайскими партнерами в ближайшие месяцы.

### В Минске появились электрические сети напряжением 20 кВ

В Белорусской энергосистеме впервые начато внедрение сетей 20 кВ в рамках создания электросетевой инфраструктуры для многофункционального жилого комплекса «Северный Берег».

В мае минские энергетики включили под напряжение первые объекты распределительной сети 20 кВ: переходный пункт на ПС 110/10 кВ «Долгиновская», трансформаторные подстанции 20/0,4 кВ и кабельные линии между ними. Ведется подготовка к строительству основных центров электроснабжения комплекса «Северный Берег» – подстанций 110/20 кВ «Береговая» и «Дрозды».

В новом ЖК ожидается значительный рост электрических нагрузок в связи с высокой плотностью застройки, включающей многоквартирные дома с электроотоплением. Внедрение сетей на напряжение 20 кВ существенно повысит пропускную способность ЛЭП, а также качество и надежность электроснабжения. Кроме того, снизятся потери электроэнергии, сократится количество вновь вводимых трансформаторных подстанций и кабельных линий.

Практику внедрения электросетей 20 кВ планируется продолжить и в других районах столицы.

### Новогрудский завод газовой аппаратуры расширил номенклатуру продукции

12 июня Министр энергетики Виктор Каранкевич в рамках рабочей поездки на ОАО «Новогрудский завод газовой аппаратуры» ознакомился с результатами производственно-хозяйственной деятельности предприятия и стратегией его дальнейшего развития.

В условиях внешних ограничений НЗГА смог перестроить логистику и экспортные цепочки, найти новых потребителей и нарастить поставки продукции на рынки России, Казахстана, Узбекистана, Армении. В 2022 году объем производства вырос на 12 % по сравнению с предыдущим годом. Положительная динамика сохранилась и в 2023 году – рост составил 26,4 %.



В целом за последние пять лет завод расширил номенклатуру выпускаемой продукции более чем на 10 %. За счет модернизации увеличился уровень автоматизации производственных процессов. На предприятии продолжается успешное освоение инновационных технологий. Так, опыт оцифровки жизненного цикла бытовых газовых баллонов и внедрения RFID-меток заинтересовал российских партнеров. В планах завода – дальнейшее расширение двусторонних деловых контактов.

### Межсистемная тренировка оперативного и диспетчерского персонала прошла успешно

13 июня в ГПО «Белэнерго» проведена межсистемная противоаварийная тренировка оперативного и диспетчерского персонала Белорусской энергосистемы. В тренировке приняли участие диспетчеры аппарата управления ГПО «Белэнерго», центральных диспетчерских служб РУП «Витебскэнерго» и РУП «Могилевэнерго», а также оперативный персонал Лукомльской ГРЭС, Бобруйской ТЭЦ-2, Новополоцкой ТЭЦ, ПС 330 кВ «Полоцк» и «Мирадино».



В ходе тренировки были отработаны совместные действия по ликвидации нарушений нормального режима работы энергосистемы Беларуси, связанных с образованием крупного дефицита мощности вследствие нештатных ситуаций на системообразующих объектах и отключения сетевых элементов основной сети.

Тренировка проводилась с использованием режимного тренажера «Финист» на базе кабинета тренажерной подготовки персонала диспетчерской службы ГПО «Белэнерго» с предоставлением удаленного доступа к резервным рабочим местам подчиненного диспетчерского и оперативного персонала.

Впервые с помощью режимного тренажера «Финист» была смоделирована работа противоаварийной автоматики частотного деления одной из основных электростанций Белорусской энергосистемы.

*Подготовлено по материалам Минэнерго, ГПО «Белэнерго», ГПО «Белтопгаз», информгентств, собственных корреспондентов, телеграм-канала «Минэнерго Официальный»*

# МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## ОПЕК+ продлила нефтяную сделку на 2025 год

По итогам заседания 2 июня ОПЕК+ решила продлить текущую нефтяную сделку еще на год. При этом исключение по объемам добычи нефти сделано для ОАЭ.

Существующие ограничения продлеваются с 1 января 2025 года до 31 декабря 2025 года. Разрешенный уровень добычи нефти для Саудовской Аравии и России на следующий год не изменится (10,478 и 9,949 млн барр./сут соответственно). Для ОАЭ предлагается увеличить предельный суточный уровень добычи на 300 тыс. барр. – до 3,519 млн барр./сут.

Свое решение альянс объяснил стремлением сохранить «осторожный и упреждающий подход», поддержать стабильность и прозрачность нефтяного рынка и обеспечить для него долгосрочные ориентиры. Кроме того, ОПЕК+ сообщила, что три независимых источника, отслеживающие добычу нефти, до конца ноября 2025 года представят свои оценки производственных мощностей стран альянса для определения квот на 2026 год.

## Евросоюз нарушает запрет на импорт нефтепродуктов из России

Страны ЕС импортируют нефтепродукты из России через Турцию, обходя собственный запрет на их покупку, введенный в феврале 2023 года. Такие данные представил финский Центр исследований энергетики и чистого воздуха (CREA).

В исследовании указывается, что за год после введения эмбарго (с февраля 2023 года по февраль 2024-го) только в трех турецких портах (Джейхан, Мармара-Эреглиси и Мерсин), не имеющих выхода к центрам нефтепереработки в Турции, страны ЕС закупили российских нефтепродуктов на € 3,1 млрд.

Анализ конкретных поставок позволяет предположить, что европейские компании могли импортировать нефтепродукты российского происхождения, смешанные с другими или просто реэкспортированные с терминалов хранения нефти в Турции.

## В Китае запустили самую большую фотоэлектростанцию в мире

В КНР ввели в эксплуатацию крупнейшую солнечную электростанцию в мире. СЭС принадлежит национальной энергетической компании Power China. Мощность станции составляет 3,5 ГВт, что позволит обеспечить энергией более 3 млн домохозяйств. Светочувствительные солнечные панели покрывают свыше 800 км<sup>2</sup> площади станции.

СЭС начали строить в августе 2023 года в пустынной части Синьцзян-Уйгурского автономного района на северо-западе страны. В настоящее время к энергосетям подключен участок мощностью 1,5 ГВт. Когда станцию инте-



грируют полностью, среднегодовая выработка энергии в регионе превысит 6 млрд кВт·ч. Мощности станции достаточно, чтобы обеспечить электроэнергией такое государство, как, например, Люксембург.

Ожидается, что ввод СЭС в эксплуатацию позволит сократить потребление угля на 2 млн т, уменьшив выбросы в атмосферу углекислого газа, сажи и оксидов азота.

Ранее Международное энергетическое агентство (МЭА) в своем докладе заявило, что Китай может сыграть ключевую роль в достижении климатических целей ООН. В 2023 году в стране установили 510 ГВт мощностей возобновляемых источников энергии.

## Мировые расходы на зеленую энергетику впервые превысят затраты на ископаемое топливо

Эксперты МЭА утверждают, что мировые расходы на проекты зеленой энергетики по итогам текущего года достигнут \$ 2 трлн и впервые превысят затраты на разработку в области ископаемого топлива.

Так, вложения Китая в чистую энергетику в 2024 году могут вырасти до \$ 675 млрд, Европы – до \$ 370 млрд, США – до \$ 315 млрд. Это проекты в таких сферах, как ВИЭ, атомная энергетика, электромобили, системы хранения энергии и сокращение выбросов CO<sub>2</sub>.

В то же время Агентство признает: стоимость таких проектов настолько высока, что тормозит их запуск в развивающихся странах, включая Бразилию и Индию (но без учета КНР). Всего в 2024 году они потратят на зеленую энергетику порядка \$ 300 млрд (15 % в общем объеме инвестиций), что не соответствует спросу на электроэнергию в этих странах.

## Потребление нефти в мире будет расти

Мировое потребление нефти будет расти даже за горизонтом 2045 года под давлением фундаментальных факторов, таких как рост экономики, увеличение населения, массовая урбанизация и т.д. Об этом заявил Генеральный

секретарь ОПЕК Хайсам аль-Гайс в ходе сессии «Будущее рынка нефти и газа: перспективы глобального спроса и планы производителей» на ПМЭФ-2024.

Так, к 2045 году мировая экономика удвоится по сравнению с текущим периодом, а население Земли вырастет с 8 млрд до 9,5 млрд человек. Этот рост будет сконцентрирован прежде всего в Китае, Индии, странах Ближнего Востока. При этом в результате растущей урбанизации уже к 2030 году в города из сельской местности могут переехать 600 млн человек.

Генеральный секретарь ОПЕК сообщил, что в мире до сих пор существует отложенный спрос на топливо и электроэнергию. Сегодня на среднестатистического жителя Европы приходится 9 млн барр. потребляемой нефти в год, тогда как в других частях света этот показатель составляет всего 1 млн барр.

Только в этом году спрос на нефть может вырасти на 2,2 млн барр./сут – до 102 млн барр./сут. Все этого говорит о том, что мировой экономике потребуются самые разные источники энергии для удовлетворения растущего спроса, в том числе нефть.

### Литва планирует экспортировать электроэнергию в Германию

Литва собирается к 2050 году стать энергопрофицитной и поставлять электроэнергию в энергодефицитную Германию и другие страны Центральной Европы. Правительство страны утвердило обновленный вариант Национальной стратегии энергетической независимости до 2050 года. И если вариант стратегии, утвержденный в 2018 году, исходил из того, что Литва станет энергонезависимой страной, то текущий предполагает намного более амбициозные планы.



Согласно документу основой для развития энергетики станут ВИЭ, доля которых в энергобалансе страны к 2050 году должна вырасти до 100 %, а также интеграция литовской энергосистемы в общеевропейскую. Планируется, что обновленная энергосистема сможет ежегодно обеспечивать Литве порядка € 6,3 млрд доходов (11 % ВВП).

Между тем при обсуждении стратегии в правительстве министр окружающей среды С. Гянтвилас обратил внимание, что создание подобной энергосистемы на ВИЭ потребует от Литвы колоссальных инвестиций, равных 1–2 % ВВП страны в год. Данная оценка обоснована тем,

что на конец 2023 года литовские электростанции обеспечивали лишь 47 % потребления страны. Из них около 58 % приходилось на ВЭС и СЭС. И пока что страна поставляет лишь небольшие объемы электроэнергии в соседние Польшу (через LitPol Link) и Латвию.

### СПГ конкурирует с нефтью на мировых рынках

Агентство Bloomberg сообщает, что из-за низких цен и отсутствия картелей СПГ может заместить нефть на мировых рынках. Так, в Китае начали активно продаваться грузовые автомобили и суда, работающие на сжиженном газе. По данным китайской аналитической компании First Commercial Vehicle Network, каждый третий новый грузовик в Китае работает на СПГ. В годовом исчислении рост продаж таких автомобилей составил 208 %.

Таким образом, СПГ может оказать существенное влияние на сферу транспорта, потому что он теперь дешевле дизельного топлива. Кроме того, не существует картеля, регулирующего цены на сжиженный газ, подобно тому как это делает ОПЕК+ на нефтяном рынке.

Таким образом, в отдельных сегментах СПГ становится гораздо более привлекательным энергоресурсом, чем нефть, в том числе из-за своей высокой эффективности, большей экологичности и поддержки со стороны политических элит.

### Евросоюз не планирует заключать долгосрочные контракты на импорт газа

Планы Азербайджана по почти двукратному увеличению поставок газа в ЕС могут остаться нереализованными из-за нежелания Европы заключать долгосрочные контракты на его закупку.

Сейчас Азербайджан поставляет в Евросоюз порядка 11,8 млрд м<sup>3</sup> газа. На фоне отказа ЕС от российского топлива к 2027 году Баку рассчитывал увеличить поставки по «Южному газовому коридору» до 20 млрд м<sup>3</sup>. Однако страны Евросоюза не готовы заключать долгосрочные контракты на условиях, гарантирующих сохранение объемов закупок. В связи с этим Азербайджан до сих пор не окупил затраты на реализацию второй стадии проекта «Шах-Дениз» и строительство «Южного газового коридора», стоимость которых достигла \$ 33 млрд.

Для увеличения объемов экспорта газа в Европу требуются именно долгосрочные контракты и политическая поддержка. Главными нерешенными проблемами по-прежнему остаются вопросы финансирования газотранспортной инфраструктуры, сроки окупаемости инвестиций в нее и гарантии по сохранению спроса на газ на ближайшие 10–15 лет.

### Японские концерны объединились для создания углеродно-нейтрального двигателя

Проиграв конкуренцию в сегменте классических электромобилей китайским и американским производителям, японские



концерны Subaru, Toyota и Mazda решили объединиться, чтобы создать принципиально новые компактные двигатели на альтернативных видах топлива.

Главы концернов выступили с совместным заявлением о приверженности зеленой повестке и о разработке двигателей внутреннего сгорания, использующих вместо ископаемого топлива жидкий водород, синтетическое и биотопливо. При этом они не представили единый проект двигателя или его прототип. Каждый из концернов будет разрабатывать свой концепт на базе собственных наработок.

Новые двигатели должны стать заметно меньше и эффективнее, а их производство и использование – намного выгоднее. Будущие модели автомобилей будут иметь более низкие капоты, улучшенную аэродинамику и резерв для дальнейшего повышения эффективности. При этом они смогут также использовать платформы для электродвигателей. Все это позволит превратить двигатели внутреннего сгорания в углеродно-нейтральные.

### Вновь поднят вопрос о неэффективности альтернативной энергетики

Выступая на ПМЭФ-2024, главный исполнительный директор ПАО «НК «Роснефть» Игорь Сечин напомнил об исследованиях лауреата Нобелевской премии по физике академика Петра Капицы, которые были проведены в 1976 году. На основании базовых физических принципов ученый предсказал возможность глобального энергокризиса из-за недостаточной эффективности всех видов альтернативной энергетики.

По мнению ученого, ключевой характеристикой любого вида энергии является плотность обеспечиваемого энергетического потока. По этому показателю такие виды топлива, как нефть (195 Вт/м<sup>2</sup>) и газ (482 Вт/м<sup>2</sup>), намного опережают солнечную (6,6 Вт/м<sup>2</sup>), и ветровую энергию (1,8 Вт/м<sup>2</sup>), которые, помимо прочих недостатков, имеют неравномерный характер генерации.

Несмотря на то, что в мире за последние 20 лет в энергетический переход было инвестировано около \$ 10 трлн, альтернативные источники энергии так и не смогли вытеснить углеводородное топливо. Сегодня ветровая и солнечная энергетика обеспечивают менее 5 % мировой выработки, а доля электромобилей составляет около 3 %.

За тот же период потребление нефти, газа и угля суммарно выросло на 35 %, а их совокупная доля в мировом энергобалансе не изменилась. Более того, потребление

нефти и угля, а также использование газа в электрогенерации в 2023 году вышли на новый рекордный уровень.

### В Швеции пересмотрен стандарт эксплуатационной надежности энергосистемы

Шведский системный оператор Svenska kraftnat в соответствии с распоряжением правительства страны пересмотрел критерии стандарта эксплуатационной надежности энергосистемы в сторону их смягчения в связи с постоянным увеличением доли погодозависимой генерации и резким ростом объемов электропотребления.

В новой редакции стандарта допускается:

- суммарное время отклонения частоты от номинального значения – до 1000 мин в год;
- суммарное время превышения максимально допустимых перетоков мощности – до 2000 мин в год;
- суммарное время отключения IT-систем и SCADA – до 3000 мин в год.

Системный оператор считает оправданными указанные изменения в текущих условиях и намерен поддерживать достаточный запас эксплуатационной надежности для IT-систем и SCADA за счет высоких требований к закупаемому оборудованию и используемым технологиям. В дальнейшем Svenska kraftnat планирует проводить актуализацию стандарта эксплуатационной надежности на постоянной основе.

### Австралия продлевает эксплуатацию крупнейшей в стране угольной ТЭС

Правительство австралийского штата Новый Южный Уэльс планирует продлить на четыре года эксплуатацию крупнейшей в стране четырехблочной угольной ТЭС Eraring установленной мощностью 2880 МВт.



Решение правительства предусматривает предоставление субсидий ТЭС Eraring в течение двух лет с выдачей разрешения на эксплуатацию еще на два года. Субсидии будут направлены на компенсацию роста цен на уголь, но могут распространяться и на другие аспекты работы ТЭС. Размер субсидий будет обсуждаться комитетом по пересмотру расходов правительства. По имеющимся оценкам, сохранение в работе только двух из четырех энергоблоков ТЭС Eraring может обойтись правительству до \$ 150 млн в год.

*Подготовлено по материалам международных энергетических агентств, информационных порталов*



Виктор Каранкевич:

## «ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОСТАЮТСЯ БЕЗУСЛОВНЫМ ПРИОРИТЕТОМ»

**4 июня в Москве Комиссия Парламентского Собрания Союза Беларуси и России по энергетике рассмотрела вопросы сотрудничества двух государств в области атомной энергии, атомных неэнергетических и неатомных проектов, обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии. Участие в заседании принял Министр энергетики Республики Беларусь Виктор Каранкевич.**

Парламентариев Союзного государства проинформировали о ходе реализации Декрета Высшего Государственного Совета Союзного государства от 29 января 2024 года № 2 «Об основных направлениях реализации положений Договора о создании Союзного государства на 2024–2026 годы» в части обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии.

Как пояснил Виктор Каранкевич, основные направления реализации положений Договора предусматривают двустороннее взаимодействие в сфере обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии. С этой целью разработан план мероприятий, направленный на развитие сотрудничества по вопросам научно-технического сопровождения и технической поддержки эксплуатации Белорусской АЭС, подготовки кадров и наращивания кадрового потенциала, обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом (РАО и ОЯТ), а также на взаимодействие при проектировании объектов обращения с РАО. Совместно с российскими коллегами начата практическая реализация плана.

«На уровне Минэнерго и нашего стратегического партнера – Госкорпорации «Росатом», а также ее структурных подразделений и наших подведомственных организаций обеспечивается сервисное обслуживание и поставка за-

пасных частей и комплектующих для БелАЭС, заключены договоры по научно-техническому сопровождению эксплуатации ядерного топлива, проведена определенная работа по подготовке концепции вывода из эксплуатации двух энергоблоков атомной станции и разработке методики оценочного расчета стоимости этих работ», – рассказал Министр.

Продолжается взаимодействие по вопросам развития кадрового потенциала атомной отрасли Беларуси. Особое внимание на данном этапе уделяется подготовке персонала БелАЭС, входящего в кадровый резерв, а также руководящего состава для пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), первая очередь которого должна быть введена в строй к 2030 году. Подписаны соответствующие документы о сотрудничестве с российскими партнерами, в том числе дорожная карта по подготовке специалистов.

Соглашением между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области обращения с отработавшим ядерным топливом от 21 ноября 2022 года предусмотрено заключение рамочного контракта на обеспечение безопасного обращения с ОЯТ БелАЭС, определяющего права и обязанности уполномоченных и привлекаемых организаций, финансовые и другие аспекты сотрудничества.

Виктор Каранкевич сообщил о проработке возможностей создания в республике накопительной площадки для хранения ОЯТ БелАЭС, включая сооружение промежуточного хранилища контейнерного типа. Это позволит оптимизировать транспортно-технологические операции, связанные с подготовкой и последующей отправкой ОЯТ на переработку в Российскую Федерацию. Совместная работа в этой сфере ведется с привлечением профильных министерств, ведомств, специализированных организаций.

Продолжаются исследовательские и изыскательские работы по выбору приоритетной площадки для размещения в республике ПЗРО. При подго-



товке предпроектной и проектной документации для выполнения технологической части и разработки физической защиты объекта планируется задействовать специализированные организации Госкорпорации «Росатом». Проводятся консультации с российской стороной по вопросам разработки и подписания межправительственного соглашения по проектированию и сооружению данного объекта.

В рамках взаимодействия в области обращения с РАО и ОЯТ будет разработан проект совместных предложений Программы Союзного государства «Обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами». Ответственным исполнителем от белорусской стороны по данному направлению выступает МЧС.

«Хотел бы подчеркнуть, что вопросы ядерной и радиационной безопасности остаются для нас безусловным приоритетом, – сказал Виктор Каранкевич. – Это неизменное требование Главы государства. В этом направлении уже проделана серьезная работа, в том числе по формированию системы ядерной и радиационной безопасности и ее важнейших элементов. В своей дальнейшей работе мы также будем придерживаться самых высоких требований безопасности, безусловно, ориентируясь на лучший опыт нашего стратегического партнера – Госкорпорации «Росатом» как в части дальнейшей эксплуатации АЭС, так и в рамках развития фактически нового для нас направления – обращения с радиоактивными отходами и создания соответствующей инфраструктуры».





# ПМЭФ-2024: формирование новых точек роста

*По итогам XXVII Петербургского международного экономического форума*

5–8 июня состоялось одно из самых масштабных деловых событий в мире – Петербургский международный экономический форум. «Основа многополярного мира – формирование новых точек роста» – такова его главная тема в этом году. Форум собрал представителей 130 стран. Участие в мероприятиях ПМЭФ приняла также делегация Министерства энергетики Республики Беларусь под руководством Министра Виктора Каранкевича.

**П**етербургский международный экономический форум проходит ежегодно и имеет статус ведущей мировой площадки по обсуждению ключевых вопросов глобальной экономики, обмену лучшим мировым опытом и компетенциями в целях обеспечения устойчивого развития стран-участниц. В этом году деловая программа ПМЭФ включала более 150 тематических секций.

Министр энергетики Республики Беларусь Виктор Каранкевич принял участие в пленарном заседании форума, в рамках которого были рассмотрены ключевые вопросы глобальной экономики, условия развития международных отношений и создание новых точек роста. Министр также участвовал в работе 64-го заседания Электроэнергетического Совета СНГ и выступил на панельной сессии «Союзное государство: 25 лет интеграции – итоги и новые задачи».

## На повестке дня стратегические вопросы взаимодействия в энергетической отрасли

Ключевым вопросом 64-го заседания ЭЭС СНГ, состоявшегося 6 июня, стало взаимодействие стран Содружества в энергетической отрасли. В частности, было отмечено, что 24 мая в Ашхабаде главы правительств стран СНГ утвердили Концепцию сотрудничества в сфере энергетики до 2035 года. В настоящее время ведется работа над проектом стратегии развития ТЭК СНГ до 2035 года. Планируется также разработка концепции сотрудничества

стран СНГ в сфере обеспечения региональной энергетической безопасности.

Предметом обсуждения стали также современные тренды развития энергетики в СНГ, потенциал партнерства в этой сфере, возможности атомной энергетики и ее роль в достижении климатических целей.

Обсуждая вопросы развития мегаполисов и создания необходимой электросетевой инфраструктуры, участники заседания проявили интерес к опыту Беларуси в области электрификации жилого фонда и использования электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения. В свою очередь Виктор Каранкевич заявил о готовности белорусской стороны поделиться этим опытом.

При подведении итогов заседания была отмечена необходимость расширять сотрудничество в области информационного обмена и координации планирования в электроэнергетической сфере. Это будет способствовать повышению конкурентоспособности национальных экономик на основе эффективного использования энергоресурсов. Страны СНГ договорились развивать кооперацию в электроэнергетике по традиционным и новым технологическим направлениям, а также научно-техническое сотрудничество в сфере энергомашиностроения.

В рамках заседания был утвержден ряд документов ЭЭС СНГ и согласован проект Меморандума о взаимопонимании между Экономической и социальной комиссией ООН для Азии и Тихого океана и Электроэнергетическим Советом СНГ.



принимаются комплексные меры по достижению технологического суверенитета.

Беларусь и Россия существенно продвинулись в реализации союзных программ по созданию объединенных энергорынков. Разработан и прошел внутригосударственные процедуры проект межгосударственного договора о формировании объединенного рынка электроэнергии. Определены ценовые условия по поставкам российского природного газа в Республику Беларусь до 2025 года включительно.

«Наши совместные усилия будут сконцентрированы на переводе в практическую плоскость механизмов функционирования энергорынков и дальнейшем поэтапном углублении двусторонней интеграции», – подчеркнул Виктор Каранкевич.



### БелАЭС – самый высокотехнологичный белорусско-российский проект

Особый акцент в своем выступлении на панельной сессии Виктор Каранкевич сделал на белорусско-российском сотрудничестве в области использования мирного атома. Он отметил, что во взаимодействии с российскими специалистами проделана масштабная работа по гармонизации законодательства и совершенствованию норма-

### Углубление двусторонней интеграции Беларуси и России приносит результаты

Выступая на панельной сессии «Союзное государство: 25 лет интеграции – итоги и новые задачи», которая состоялась в рамках ПМЭФ, Виктор Каранкевич отметил, что стратегическое взаимодействие между Республикой Беларусь и Российской Федерацией выходит на новый уровень. Основой для этого стали принятые по итогам встречи в Минске лидерами двух стран принципиальные решения о дальнейшем углублении интеграции. В ходе переговоров достигнут ряд важнейших договоренностей о развитии сотрудничества в энергетике, направленных на укрепление энергетической безопасности Союзного государства и эффективное функционирование национальных экономик.

Министр отметил, что эта работа уже приносит результаты. В условиях непростой внешнеполитической ситуации и нарастающего давления ТЭК Беларуси и России функционируют устойчиво, обеспечивают стабильную работу промышленности и социальной сферы, удовлетворение нарастающего внутреннего спроса на энергоресурсы. Продолжаются модернизация и развитие энергетической инфраструктуры, в отрасли





тивно-правовой базы в сфере повышения безопасности и надежности эксплуатации Белорусской атомной электростанции и ее технического сопровождения.

БелАЭС стала самым масштабным и высокотехнологичным проектом белорусско-российского сотрудничества. Благодаря сооружению станции наша страна полностью отказалась от импорта электроэнергии и снизила зависимость от природного газа.

В настоящее время станция работает двумя блоками на полной мощности, обеспечивая возрастающий спрос на электроэнергию со стороны реального сектора экономики и населения. В 2023 году объем электропотребления в целом по стране вырос на 6,6 % по сравнению с 2022 годом, а рост показателя за январь–апрель 2024 года составил 9,7 %.

Мирный атом не только гарантирует энергетический суверенитет и устойчивое развитие энергосистемы, но и обеспечивает серьезные конкурентные преимущества для многих смежных отраслей экономики. Министр отметил, что совместная работа со стратегическим партнером – Госкорпорацией «Росатом» продолжается как в сфере атомной энергетики, так и по смежным неэнергетическим направлениям, среди которых аддитивные технологии, накопители энергии, тренажеростроение и цифровизация.

### Парафированы планы мероприятий по формированию объединенных рынков электроэнергии и газа

На полях Петербургского международного экономического форума министры энергетики Беларуси и России Виктор Каранкевич и Сергей Цивилев парафировали планы мероприятий по формированию объединенных рынков электроэнергии и газа. Выполнение планов будет организовано в рамках Основных направлений реализации положений Договора о создании Союзного государства на 2024–2026 годы.

В соответствии с документами в 2024 году планируется подписание межгосударственного договора о формировании объединенного рынка электрической энергии Союзного государства. Стороны также должны окончательно согласовать и подписать правила его функционирования. Кроме того, будет разработана дорожная карта по формированию внутреннего оптового рынка электроэнергии Беларуси.

В части формирования объединенного рынка газа продолжится работа по согласованию принципов его функционирования, предусматривающих дальнейшее сближение условий хозяйствования в газовой сфере с 1 января 2026 года.

*Подготовила Ольга Гончар*





И.В. ЦУРАН,  
ведущий инженер управления  
эксплуатации электрических сетей  
ГПО «Белэнерго»

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЛ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ ПРОВОДАМИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Около 40 % территории Беларуси занимают леса. В связи с этим в ходе реализации проектов по развитию электросетевой инфраструктуры часто приходится прокладывать воздушные линии электропередачи через лесные массивы. При этом энергетики сталкиваются с сопутствующими трудностями, включая затраты на вырубку леса для строительства ВЛ и на поддержание ширины лесных просек в период эксплуатации линий в соответствии с требованиями ТНПА.

## Актуальность применения ВЛ с изолированными (покрытыми) проводами

Рубки в полосах леса, прилегающих к просекам воздушных линий электропередачи (ВЛ), проводятся в целях предотвращения случаев падения деревьев на провода и возгорания леса по этой причине. Такие рубки заключаются в удалении как отдельных опасных деревьев, так и целых участков насаждений.

Ширина полос леса, прилегающих к просекам ВЛ, определяется высотой деревьев, радиус траектории падения которых превышает установленное безопасное расстояние до крайних проводов линии. При определении ширины просеки должны учитываться условия эксплуатации ВЛ и ведения лесного хозяйства с точки зрения опасности падения деревьев на линии и возможности быстрой ликвидации повреждений. На это влияет состав пород деревьев, характер грунтов, доступность трассы ВЛ и т.п.

Очевидно, что рубка леса под просеки ВЛ наносит вред природе, изменяя рельеф местности, трансформируя растительный покров и разрушая тем самым среду обитания живых организмов, что в результате сказывается на биологическом разнообразии леса, а значит, и всей экосистемы региона.

С учетом вышеизложенного в условиях прохождения линий электропередачи по лесным массивам целесообразно применение ВЛ 10 кВ с изолированными (покрытыми) проводами (ВЛП). При этом под лесными массивами принято понимать территории лесного фонда, а также не входящие в их состав территории с древесно-кустарниковой растительностью.

Главное преимущество ВЛП состоит в том, что они не требуют широких просек и устойчивы к внешним воздействиям, в том числе падению деревьев и веток на провода. Для предотвращения перерывов электроснабжения по указанной причине еще в 2012 году в ГПО «Белэнерго» было принято решение по переводу ВЛ 6–10 кВ, проходящих по лесным массивам, на ВЛП, а в некоторых случаях – на кабельные линии электропередачи (КЛ) 10 кВ.

Только за последние пять лет в рамках реализации данного решения в изолированное исполнение было переведено 5036 км ВЛ 6–10 кВ, проходящих по лесным массивам, в том числе:

- в 2019 году – более 865 км;
- в 2020 году – более 833 км;
- в 2021 году – более 725 км;
- в 2022 году – более 1110 км;
- в 2023 году – более 1500 км.

По состоянию на 1 января 2024 года протяженность ВЛП и КЛ 10 кВ,

проходящих по лесным массивам, составила более 10 600 км.

В пределах лесных массивов трассы ВЛП 10 кВ по возможности прокладывают по существующим квартальным и противопожарным просекам, избегая сооружения линий в насаждениях, расположенных узкими полосами вдоль трассы ВЛ.

## Преимущества изолированных (покрытых) проводов

При строительстве ВЛП 10 кВ используют, как правило, провода марок СИП-3 и АСИ. Крепление проводов к мачтам осуществляется при помощи изоляционных элементов, которые предотвращают разряды между проводами и мачтами.

СИП-3 – это самонесущий изолированный одножильный провод со стальным сердечником и оплеткой из алюминиевого сплава (алюминий, магний и кремний). Все жилы имеют правостороннюю скрутку. Снаружи предусмотрен изоляционный слой из сшитого светостабилизированного полиэтилена, который не пропускает ультрафиолетовые лучи. Такой провод используется для строительства ЛЭП напряжением до 35 кВ. Рабочая температура СИП-3 составляет 70 °С, он подходит для продолжи-



После падения деревьев на провода ВЛП 10 кВ линия остается в работе

тельной эксплуатации в условиях от  $-20$  до  $+90$  °С и рекомендован для применения в любом климате, исключая арктический и резко континентальный.

СИП-3 может иметь разное сечение токопроводящих жил: от 35 до 240 мм<sup>2</sup>. При выборе оптимального сечения необходимо убедиться, что оно соответствует мощности планируемой токовой нагрузки провода. Чем больше сечение проводника, тем выше допустимая сила тока.

Применение СИП обеспечивает высокую надежность электроснабжения потребителей: значительно снижается количество перебоев, уменьшается число аварийных ситуаций на высоковольтных линиях. Изолированным проводам не страшно схлестывание или касание нескольких СИП. Вероятность отключения электроснабжения невысока даже при падении на линию деревьев или ветвей.

Для сооружения ВЛП нет необходимости прокладывать в лесном массиве широкие просеки, соответственно, экономятся время и средства на последующую их расчистку. Материал изоляции проводов не образует электрических и химических связей с контактной средой. Поэтому они не подвержены обрастанию льдом или мокрым снегом, в отличие от традиционных проводов марок А и АС, на которых налипший снег удерживается в канавках между проволоками.

Важным преимуществом СИП является возможность их совместной подвески с проводами низкого и высокого напряжения, линиями связи. Изолированные провода также по-

зволяют снизить потери электроэнергии на транспорт в сетях за счет уменьшения более чем в три раза реактивного сопротивления.

Кроме того, следует отметить безопасность СИП: их применение значительно снижает количество случаев поражения электрическим током при ремонте и эксплуатации линий.

Схожие характеристики имеют и провода АСИ. В целом использование проводов обеих марок обеспечивает существенное снижение затрат на эксплуатацию, а также повышает эстетические качества и долговечность электросетевых объектов.

### Практика реализации нормативных требований

Согласно ТКП 339-2022 (33240) «Электроустановки на напряжение до 750 кВ...», введенному в действие с 20 декабря 2022 года, «при возведении (реконструкции) ВЛ напряжением 10 кВ должны выполняться проводами, покрытыми защитной изолирующей оболочкой» (п. 5.3.1.1).

Для ВЛП 10 кВ, проходящих по лесным массивам, применяются технические решения, предусмотренные стандартом ГПО «Белэнерго» СТП 09110.20.190-13 «Линии электропередачи воздушные напряжением 10 кВ с покрытыми защитной изолирующей оболочкой проводами. Технические решения по повышению надежности при прохождении линий электропередачи в лесах».

В частности, в стандарте приведено конструктивное решение по разме-

щению траверс, изоляторов и изолированных проводов на опорах, обеспечивающее срыв всех трех проводов с изоляторов при воздействии на них падающих деревьев и веток. Это решение получило название «перевернутый треугольник» и хорошо зарекомендовало себя на практике.

Эффективность данного подхода можно оценить по динамике количества аварийных отключений ВЛ 6–10 кВ по причине падения деревьев, веток и перекрытия на поросль. Тенденцию ежегодного роста аварийных отключений удалось переломить после 2021 года, когда было зафиксировано 1051 отключение по рассматриваемым причинам. В последующие два года более 2600 км неизолированных проводов на ВЛ 6–10 кВ было заменено на изолированные, что позволило в 2022 году снизить количество отключений до 858, а в 2023-м – до 339, то есть более чем в три раза. В первом квартале 2024 года отмечено всего 7 таких отключений.

Показательным является тот факт, что во время урагана 2–3 апреля текущего года 26 из 96 зафиксированных отключений ВЛ 6–10 кВ произошли на линиях, проходящих по землям вне лесного фонда, и только одно – на ВЛ в лесном массиве. Следует отметить, что в указанный период в связи с погодными условиями имели место отключения и 15 ВЛП 10 кВ.

В настоящее время работы по замене неизолированных проводов ВЛ 6–10 кВ, проходящих по землям лесного фонда, на изолированные (покрытые) в целом завершены. На указанных землях остались немногочисленные ВЛ, которые либо не амортизированы, либо по ним запитаны неперспективные населенные пункты.

Вместе с тем предстоит выполнить значительный объем работ по замене неизолированных проводов на ВЛ 6–10 кВ, проходящих по землям вне лесного фонда. Их протяженность составляет порядка 3500 км (с учетом эксплуатируемых неамортизированных линий, а также линий, по которым запитаны неперспективные населенные пункты). В 2024 году планируется заменить провода на трассах общей протяженностью порядка 600 км. Эти работы будут выполняться в плановом порядке в рамках реконструкции ВЛ, преимущественно с переводом их в кабельное исполнение.

С.С. КРАСНОВСКИЙ,  
главный инженер  
ООО «ПО «Энергокомплект»



В.П. КУБАРКО,  
заместитель директора  
Центрального представительства  
ООО «ПО «Энергокомплект»



## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ С МОНОЛИТНОЙ ЖИЛОЙ

В Республике Беларусь достаточно редко сооружаются кабельные линии, выполненные кабелем с монолитной жилой большого сечения. Это обусловлено отсутствием опыта его прокладки, недостаточной осведомленностью о его характеристиках, предполагаемой сложностью монтажа на территории подстанции и при вводе в ячейку. Между тем в мировой практике достаточно распространено использование кабеля с монолитной жилой сечением до 800 мм<sup>2</sup>. Такой тип кабеля имеет ряд существенных преимуществ перед кабелем с многопроволочной жилой.

В Республике Беларусь в основном эксплуатируются кабельные линии (КЛ) с монолитной жилой большого сечения, имеющие бумажно-масляную изоляцию, сооруженные еще во времена СССР. Кабели с монолитной жилой и полимерной изоляцией применяются в единичных случаях. Так, в 2023 году был реализован один проект по строительству КЛ с монолитной жилой сечением 120 мм<sup>2</sup>.

### Конструктивные особенности кабеля с монолитной жилой

Если сравнить кабели с многопроволочной и монолитной жилой (образцы представлены на рисунке 1), то очевидно, что изделия отличаются только конструкцией. При этом монолитная жила имеет следующие преимущества:

- влагонепроницаемость – позволяет не применять кабель с водоблокирующими элементами;
- более гладкая поверхность – повышает надежность кабеля за счет меньшей вероятности возникновения ча-

стичных разрядов из-за неоднородности электрического поля (важно для работы КЛ в условиях перегрузок и при возникновении однофазных КЗ);

- большая жесткость – позволяет проводить тяжение кабеля клиновым захватом за монолитную жилу. Разделка кабеля при этом выполняется конусообразным способом с наложением на разделанную изоляцию термоусаживаемой трубки. При таком способе исключается растягивание оболочки кабеля и изоляции и появление микрповреждений;
- меньшее активное сопротивление – 1 м кабеля с многопроволочной жилой состоит из 1,04 м (из-за повива жилы) скрученных проволок, это повышает ее сопротивление. Кроме того, поверхность каждой из проволок подвержена окислению, что также создает дополнительное сопротивление.

### Сравнение по материалоемкости, реактивному сопротивлению и емкостной проводимости

Приведем расчеты для сравнения эффективности применения кабелей с многопроволочной и монолитной жилой номинальным сечением 240 мм<sup>2</sup> по ряду параметров.

**Материалоемкость.** Сопротивление жилы кабеля регламентируется ГОСТ [1] и для данного сечения составляет 0,125 Ом/км. Для соответствия этому требованию кабели с многопроволочной жилой должны иметь сечение порядка  $S_m = 235...240$  мм<sup>2</sup>, а кабели с монолитной (однопроволочной) жилой – сечение  $S_o = 226$  мм<sup>2</sup>, то есть меньше на 3,8...5,8 %.

Радиусы многопроволочной ( $r_m$ ) и монолитной ( $r_o$ ) жил, м, определим по выражению

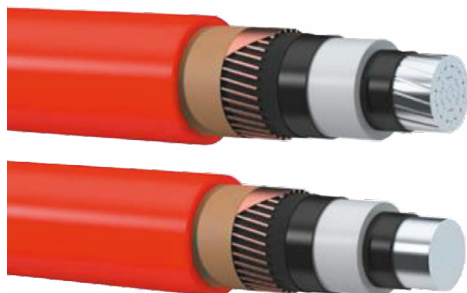


Рис. 1. Кабели АПвПу2г 1×240/35-10 с многопроволочной (сверху) и монолитной жилой

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \alpha,$$

где  $S$  – сечение жилы, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий скрутку (для многопроволочной жилы сечением 240 мм<sup>2</sup> равен 1,035, для монолитной – 1,0 [2]).

Для многопроволочной жилы

$$r_m = \sqrt{\frac{240 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{\pi}} \cdot 1,035 = 9,05 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

для монолитной –

$$r_o = \sqrt{\frac{226 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{\pi}} = 8,48 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

При этом диаметр монолитной жилы уменьшается на величину

$$\Delta d = 2(r_m - r_o) = 2(9,05 - 8,48) = 1,14 \text{ мм}.$$

Уменьшение сечения и диаметра токоведущей жилы влияет в первую очередь на снижение стоимости самого кабеля из-за меньшей материалоемкости всех компонентов.

**Реактивное сопротивление.** Применение монолитной жилы уменьшает емкость кабеля и увеличивает его реактивное сопротивление  $x_0$ , определяемое по выражению

$$x_0 = 144 \cdot 10^{-3} \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r} + 0,0157 \text{ Ом/км},$$

где  $r$  – радиус единичного провода, м;  $D_{cp}$  – среднее геометрическое расстояние между центрами жил кабеля, м.

При прокладке кабеля треугольником  $D_{cp}$  фактически равно диаметру кабеля, то есть при сечении 240 мм<sup>2</sup> для многожильного кабеля –  $35,3 \cdot 10^{-3}$  м, для кабеля с монолитной жилой –  $34,17 \cdot 10^{-3}$  м. В этом случае реактивное сопротивление составит:

– для многожильного кабеля:

$$x_{0m} = 144 \cdot 10^{-3} \cdot \lg \frac{35,3 \cdot 10^{-3}}{9,05 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 = 0,1008 \text{ Ом/км},$$

– для монолитного кабеля:

$$x_{0o} = 144 \cdot 10^{-3} \cdot \lg \frac{34,17 \cdot 10^{-3}}{8,48 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 = 0,1028 \text{ Ом/км}.$$

Рассчитанные параметры близки к справочным значениям [3], в соответствии с которыми реактивное сопротивление кабеля с жилой сечением 240 мм<sup>2</sup> составляет 0,075 Ом/км.

**Емкостная проводимость.** Емкостная проводимость кабеля  $b_0$ , См/км, определяется по выражению

$$b_0 = \omega C_0,$$

где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота переменного тока, рад/с, при частоте  $f = 50$  Гц  $\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16$  рад/с;  $C_0$  – рабочая емкость линии, Ф/км, вычисляемая по выражению

$$C_0 = \frac{0,0241 \varepsilon}{\lg \frac{R}{r}} \cdot 10^{-6},$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, находится в диапазоне 2,3...2,4 о.е.;  $R = r + \Delta_3 + \Delta_{из}$  – радиус по изоляции, м, где  $r$  – радиус жилы, м;  $\Delta_3 = 1,2 \cdot 10^{-3}$  м – толщина полупроводящих экранов по жиле и изоляции;  $\Delta_{из}$  – толщина изоляции, для кабелей 10 кВ  $\Delta_{из} = 3,4 \cdot 10^{-3}$  м.

Для многопроволочной жилы радиус по изоляции  $R_m$ , рабочая емкость линии  $C_{0m}$  и емкостная проводимость кабеля  $b_{0m}$  составят:

$$R_m = (9,05 + 1,2 + 3,4) \cdot 10^{-3} = 13,65 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$C_{0m} = \frac{0,0241 \cdot 2,3}{\lg \frac{13,65 \cdot 10^{-3}}{9,05 \cdot 10^{-3}}} \cdot 10^{-6} = 3,105 \cdot 10^{-7} \text{ Ф/км};$$

$$b_{0m} = 314,16 \cdot 3,105 \cdot 10^{-7} = 9,753 \cdot 10^{-5} \text{ См/км}.$$

Для монолитной жилы аналогичные параметры составят:

$$R_o = (8,48 + 1,2 + 3,4) \cdot 10^{-3} = 13,08 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$C_{0o} = \frac{0,0241 \cdot 2,3}{\lg \frac{13,08 \cdot 10^{-3}}{8,48 \cdot 10^{-3}}} \cdot 10^{-6} = 2,946 \cdot 10^{-7} \text{ Ф/км};$$

$$b_{0o} = 314,16 \cdot 2,946 \cdot 10^{-7} = 9,254 \cdot 10^{-5} \text{ См/км}.$$

Рассчитанные величины емкостной проводимости коррелируют со справочным значением  $14,4 \cdot 10^{-5}$  См/км [3]. При этом емкостная проводимость одножильного кабеля меньше, чем у многожильного, на 5,4 % при большем индуктивном сопротивлении.

Иными словами, при применении кабеля с монолитной жилой зарядная мощность кабеля снизится, что в определенных ситуациях может позволить увеличить количество кабельных линий на подстанции без капитальных вложений в средства компенсации зарядной мощности.

### Сравнение по наружному диаметру, массе и намотке на барабан

Внутри помещений чаще всего применяется четырехжильный кабель марки **АВВГ сечением от 50 до 240 мм<sup>2</sup>**. Сравнение показателей этого типа кабеля с многопроволочными (в маркировке «мс») и монолитными (в маркировке «ос») жилами на номинальное напряжение 1 кВ представлено графически (рис. 2–4).

Согласно приведенным данным, кабели с монолитными жилами на номинальное напряжение 1 кВ имеют меньшую массу (в среднем на 4,35 %), наружный размер (в среднем на 5,48 %) и, следовательно, большую намотку на один и тот же барабан (в среднем на 15,95 %), что ведет к снижению строительных затрат.

Сравнение параметров одножильных кабелей марки **АПГПу2г сечением от 400 до 800 мм<sup>2</sup>** с многопроволочными и монолитными жилами на номинальное напряжение 10 кВ представлено на рисунках 5–7.

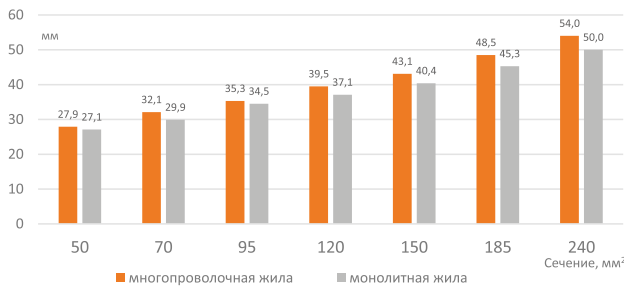


Рис. 2. Наружный диаметр кабелей напряжением 1 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

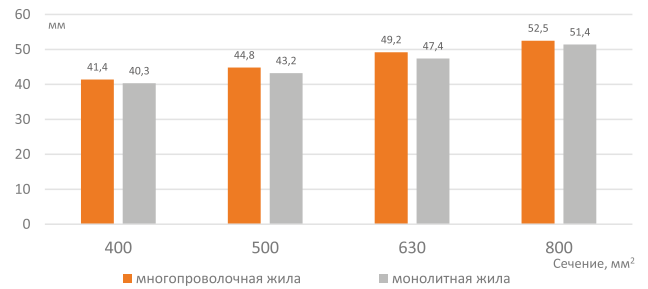


Рис. 5. Наружный диаметр кабелей напряжением 10 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

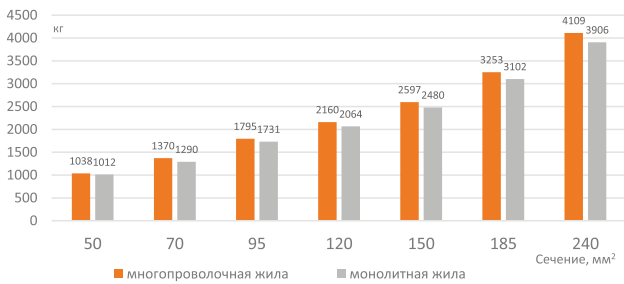


Рис. 3. Масса кабелей напряжением 1 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

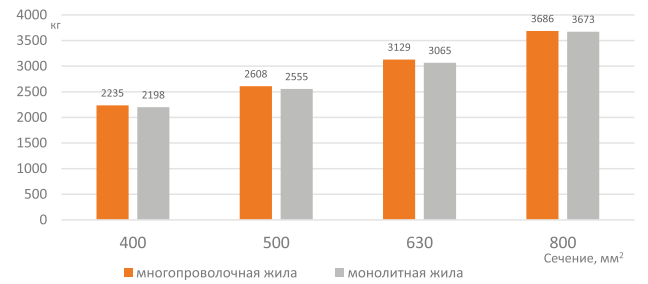


Рис. 6. Масса кабелей напряжением 10 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

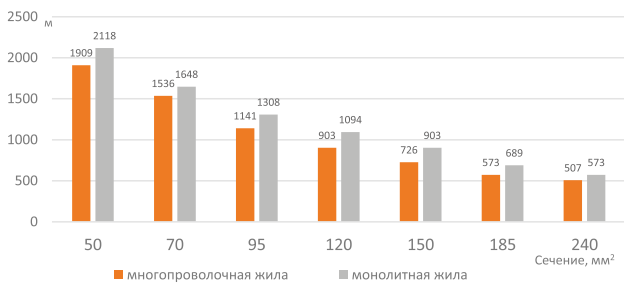


Рис. 4. Намотка на барабан типа T20 кабелей напряжением 1 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

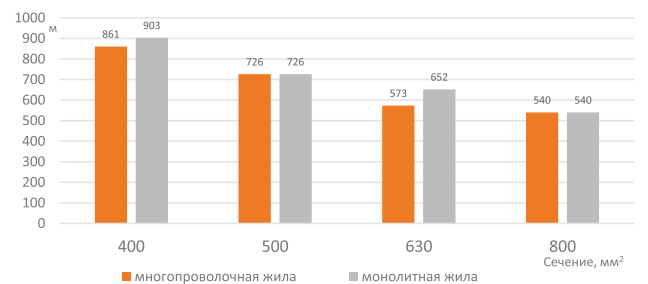


Рис. 7. Намотка на барабан типа T20 кабелей напряжением 10 кВ с многопроволочной и монолитной жилой

Как показывают приведенные данные, преимущества кабелей с монолитными жилами на номинальное напряжение 10 кВ те же, что и у кабелей на низкое напряжение. В среднем их масса меньше на 3 %, наружный размер – на 1,52 %, а намотка на один барабан больше (в среднем на 4,67 %) либо такая же, как у многожильных кабелей.

Дополнительно можно отметить, что монолитные жилы изготавливаются как круглого, так и секторного профиля, обладают пределом прочности 150 Н/мм² и выдерживают не менее 18 перегибов, в то время как предел прочности многопроволочных жил составляет 137–157 Н/мм² и они выдерживают не менее 7 перегибов.

**Соотношение достоинств и недостатков кабелей с многопроволочной и монолитной жилой**

В таблице представлены преимущества и недостатки кабелей с многопроволочной и монолитной жилой.

Как видно из таблицы, единственным недостатком монолитной жилы является сниженная гибкость. Существуют опасения, что это может затруднить монтаж КЛ на территории подстанции и при вводе в ячейку. В этом случае по основной трассе линии следует применять кабель с монолитной жилой, а на терри-

**Преимущества и недостатки кабелей с многопроволочной и монолитной жилой**

Характеристика	Многопроволочная жила	Монолитная жила
Материалоемкость	✗	✓
Активное сопротивление	✗	✓
Размеры жилы	✗	✓
Размеры кабеля	✗	✓
Объем намотки на тару	✗	✓
Нераспространение влаги	✗	✓
Стоимость кабеля	✗	✓
Гибкость	✓	✗
Надежность соединений в муфтах и наконечниках	✗	✓
Карбоновый след	✗	✓
Количество перегибов	✗	✓

✗ – недостатки  
 ✓ – преимущества

тории подстанции и в других «узких» местах – однофазный кабель с многопроволочной жилой и монтажом переходной муфты. Такой подход уже нашел применение (например, при прокладке по территории подстанции в лотках и закрытом распределительном устройстве использовался кабель с оболочкой, не поддерживающей горение, а по основной трассе – кабель для прокладки в земле).

В отношении самого процесса строительства нужно заметить, что современные строительные организации, осуществляющие прокладку кабеля, располагают необходимыми механизмами для этой работы и имеют квалифицированный персонал. Поэтому качество прокладки кабелей с монолитными жилами не должно вызывать сомнений.

Более точную оценку эффективности применения кабелей с различной конструкцией токопроводящих жил можно дать на основе метода многоцелевой оптимизации, позво-

ляющего учитывать как стоимостные, так и приведенные выше качественные показатели.

### Заключение

Перечисленные в статье особенности кабеля с монолитной жилой в конечном итоге способствуют снижению стоимости как самого кабеля (на 3–5 %), так и строительства КЛ с его использованием. Увеличение строительной длины, уменьшение количества барабанов и их веса позволяют снизить объемы перевозок, возврата тары, погрузочно-разгрузочных работ, а также сократить сроки строительства.

Еще одним важным эффектом применения кабеля с монолитной жилой является снижение зарядной емкости КЛ, что позволяет увеличивать их количе-

ство на подстанции без капитальных вложений в ее реконструкцию.

### Список литературы

1. Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров: ГОСТ 22483-2021 (IEC 60228:2004). – Введ. 01.04.2022. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2022. – 28 с.
2. Электротехнический справочник. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. проф. МЭИ (гл. ред. И.Н. Орлов) [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712 с.
3. Бачелис, Д.С. Электрические кабели, провода и шнуры: справ. / Д.С. Бачелис, Н.И. Беллоруссов, А.Е. Саакян. – М.: Энергия, 1971. – 704 с.

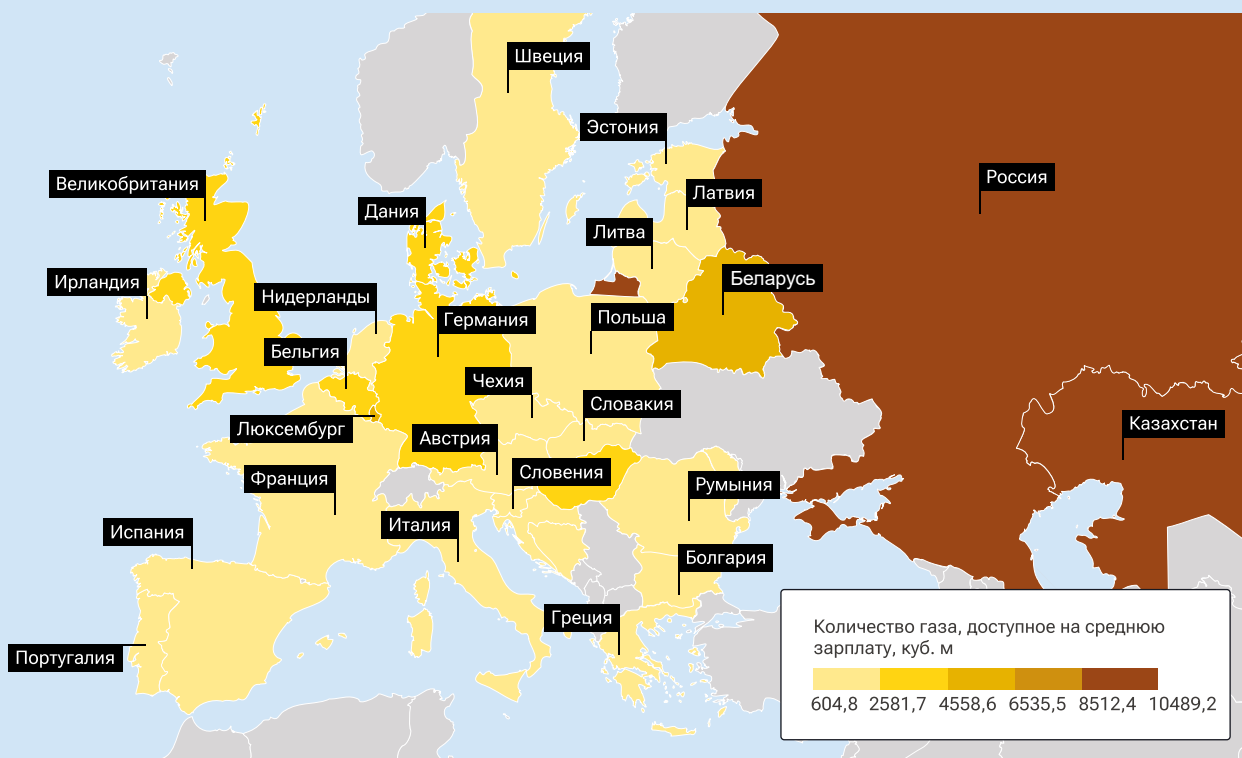
## К сведению

# Беларусь вошла в тройку лидеров по доступности газа для населения в Европе

Агентством «РИА Новости» опубликованы результаты исследования, в рамках которого были проанализированы цены 2023 года на голубое топливо в 30 европейских странах. Беларусь заняла третье место в рейтинге по доступности газа для населения. Ее жители на свою среднемесячную зарплату могут приобрести 5 тыс. м<sup>3</sup> газа.

Первое место в списке государств с самым доступным газом занял Казахстан (более 10 тыс. м<sup>3</sup>), на втором месте Россия (9,2 тыс. м<sup>3</sup>).

На последних строчках оказались Португалия, Литва и Молдова. Здесь показатель не поднимается выше отметки в одну тысячу кубометров.



Источник: <https://ria.ru/20240527/gaz-1947584639.html>

Н.В. ГРУНТОВИЧ,  
д.т.н., профессор кафедры  
«Теплоэнергетика  
и эффективное  
использование ТЭР»  
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»



С.В. КОРОТКЕВИЧ,  
к.т.н., инженер СПиЭПУ  
СЭС РУП «Гомельэнерго»



И.В. ПЕТРОВ,  
м.т.н., инженер  
ООО «Инженерно-  
исследовательский центр  
энергетики»



# НЕСОВЕРШЕНСТВО МЕТОДИКИ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

В статье рассмотрены способы оценки технического состояния подшипников по уровню вибрации, их применение на практике и недостатки. Предложена усовершенствованная теория вибрации подшипников качения. Приведены основные причины интенсивного износа подшипников и способы их устранения. Перечислены опасные дефекты новых подшипников и эксплуатационные дефекты. Особо отмечено влияние качества смазки на долговечность подшипников. Определен механизм лепесткового разрушения поверхностного слоя стали подшипника в эксплуатационных условиях.

## Анализ способов вибродиагностики подшипников

В настоящее время на практике применяются следующие способы оценки технического состояния подшипников качения (ПК) и скольжения по общему уровню вибрации.

1. Оценка по общему уровню вибрации в диапазоне частот 10–200 Гц (по СТП 33243.20.366-16).

На практике были случаи, когда вибрация подшипниковых опор в диапазоне 10–200 Гц была в норме, а в диапазоне до 10 Гц оказывалась предельной. Такая вибрация опор возникает при срыве масляного клина из-за износа баббитовой заливки или при наличии крутильных колебаний из-за дефектной муфты или недостаточной для прокачки рабочей среды мощности электропривода с частотным преобразователем. В такой ситуации возникает низкочастотная пульсация воды или воздуха.

Этим способом пользуются, как правило, при оценке состояния подшипников скольжения. Отдельные специалисты пытаются оценить техническое состояние ПК по общему уровню вибрации в диапазоне до 200 Гц, что недопустимо.

2. Оценка по общему уровню вибрации в диапазоне частот 10–

1000 Гц (по ГОСТ ИСО 10816-1-97 и ГОСТ ИСО 10816-3-2002).

Применение данного способа допустимо для экспресс-контроля ПК, то есть для решения задачи «исправен – неисправен». Если в указанном диапазоне подшипник исправен, то задача решена с вероятностью 0,5.

В диапазоне 10–1000 Гц проявляются опасные дефекты: нарушение балансировки, овальность внутреннего кольца, опрокидывание вала в ПК вследствие разноразмерности тел качения. При частоте свыше 1000 Гц также возникают дефекты: у новых ПК это повышенная микроволнистость (низкий класс обработки колец), у эксплуатируемых – раковины, задиры, наклеп. Таким образом, достоверность выявления дефектов этим способом крайне низка.

Согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 10816-3-99 в указанном частотном диапазоне выполняется виброконтроль насосного оборудования на тепловых электростанциях и БелАЭС. Как показывает статистика повреждений ПК, данная практика повышает риск останковки энергоблока. Отдельные зарубежные фирмы при продаже своих приборов рекомендуют оценивать техническое состояние ПК по общему уровню вибрации в диапазоне 10–2000 Гц, что существенно повышает

риск отключения технологического оборудования.

3. Оценка по величине коэффициента пик-фактора [1].

Коэффициент пик-фактора представляет собой отношение

$$K_{\text{пф}} = \frac{X_p}{X_e}, \quad (1)$$

где  $X_p$ ,  $X_e$  – мгновенное и среднее квадратическое значения сигнала вибрации в заданном диапазоне частот соответственно, Гц.

При значительном износе узлов ПК дискретные частоты вибрации практически не превышают значений  $X_e$  (уровня белого шума).

$K_{\text{пф}}$  может быть максимальным в следующих случаях:

- нарушение балансировки ротора в больших пределах;
- максимальное значение овальности внутреннего кольца или посадочного места на валу;
- значительная разноразмерность тел качения;
- обрыв фазы или межвитковое замыкание в обмотке;
- ослабление расклиновки обмотки статора в пазах двигателя.

При длительной эксплуатации ПК  $K_{\text{пф}}$  может быть равен 1. Это свидетельствует о предельном износе, так

как в этом случае  $X_b$  (белый шум, характеризующий износ тел качения) является максимальным для данного подшипника.

Таким образом, уровень белого шума является информативным параметром, характеризующим степень износа ПК.

4. Оценка по величине сигналов ударных импульсов [1].

Способ основан на регистрации и измерении акустических сигналов, которые возникают при работе изношенного ПК в диапазоне частот свыше 20 000 Гц. Приборы, работающие по данному принципу, позволяют диагностировать образование микрораковин на ранней стадии, а также низкий класс обработки поверхностей колец новых ПК (характерно для 50–60 % подшипников, за исключением изделий компании SKF). Как показали исследования, до 40 % новых ПК имеют отклонения геометрических параметров.

Метод определения сигналов ударных импульсов применяется на отдельных предприятиях. Его недостатком является то, что указанные отклонения не всегда регистрируются приборами.

5. Выявление дефектов по спектру «оггибающей» [2].

Данный способ нашел применение в России и на ряде предприятий Беларуси, использующих приборы марки ВАСТ. Согласно методике, в диапазоне вибрации ПК свыше 3000 Гц при помощи полосового третьоктавного фильтра выделяется узкий диапазон частот. Далее строится огибающая сигнала и по сигналам низкой частоты выявляется дефект. Подшипник рассматривается как механический генератор гармонических сигналов. Дефект и степень его опасности классифицируются по величине коэффициента модуляции

$$W = \sqrt{\left(10^{\frac{\Delta L}{10}} - 1\right) \cdot \frac{\Delta f_a}{\Delta f_t}}, \quad (2)$$

где  $\Delta L$  – разность уровней гармонической составляющей (белый шум) и амплитуды дискретной составляющей спектра вибрации;  $\Delta f_a$  – ширина полосы спектра огибающей;  $\Delta f_t$  – ширина полосы фильтра, выделяющего высокочастотную вибрацию.

Достоверность выявления дефектов этим методом зависит от целого ряда факторов, среди которых:

- выбор частоты третьоктавного фильтра в частотном диапазоне вибрации ПК, амплитуда сигнала которых зависит от наличия раковин на кольцах (наружном или внутреннем);
- уровень белого шума (влияет на величину  $\Delta L$ );
- особенности объекта диагностирования;
- квалификация специалиста.

6. Оценка состояния в соответствии с ГОСТ 32106-2013.

В таблицах ГОСТ 32106-2013 приведены границы зон вибрационного состояния и единицы измерения для некоторых видов оборудования в диапазоне частот 10–200 Гц в мкм, 10–1000 Гц в мм/с, 10–3000 Гц в мм/с<sup>2</sup>. Например, для электродвигателей мощностью менее 200 кВт рекомендуются следующие значения виброускорения: начальное 9 м/с<sup>2</sup> (90 дБ), среднее 12 м/с<sup>2</sup> (92 дБ) и предельное 16 м/с<sup>2</sup> (95 дБ). Перевод в децибелы выполнен при  $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup> в соответствии с ГОСТ 12.1.012-2004 «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования». Иными словами, при вибрации 9 м/с<sup>2</sup> происходит интенсивный износ ПК, а при вибрации 16 м/с<sup>2</sup> неизбежно его разрушение.

7. Оценка состояния в соответствии с СТП 33240.20.501-23.

В п. 4.2.26 СТП 501 указано, что при приемке энергообъекта в эксплуатацию приемная комиссия должна «дать оценку качества выполненных работ», и определены 7 критериев такой оценки, в число которых проведение технического диагностирования не входит. Данный пункт стандарта противоречит ГОСТ 24297-87, который требует указывать контролируемые параметры, вид контроля и средства измерения.

Как показывает практика эксплуатации электрооборудования, в первые дни или даже часы после его ввода в работу (ремонта) иногда проявляются серьезные дефекты ПК. Однако в ГПО «Белэнерго» не принято диагностировать их перед установкой на насосные агрегаты, хотя диагностический стенд для этого был изготовлен ОАО «Белэнергоремналадка» еще в 1998 году. На ряде промышленных предприятий Беларуси применяются аналогичные стенды российского производства.

Следует отметить, что в третьем издании СТП 501 значительно лучше,

чем во втором, изложен порядок организации технического диагностирования. При неукоснительном выполнении данного нормативного документа и наличии квалифицированных специалистов, обеспеченных современными диагностическими приборами, можно решать задачи повышения безотказности и долговечности электрооборудования.

Теория вибрации подшипников качения

В 60–70-е годы прошлого века при вычислении дискретных частот вибрации для классификации дефектов пользовались приближенными формулами. После появления микропроцессорных сборщиков данных о вибрации и многоканальных компьютерных виброакустических диагностических систем были определены математические формулы для вычисления дискретных частот вибрации ПК, соответствующие законам теоретической механики. Между тем в отдельных работах в формулы вводится угол касания  $\cos \alpha$  [2], а в других принимается угол касания, равный 0° [1]. При подобии этих формул приводятся различные трактовки физики процесса вибрации ПК.

Многочисленные исследования виброакустических характеристик новых ПК, проведенные авторами на специальном диагностическом стенде, позволили выявить некоторые ранее неизвестные закономерности.

Во-первых, при минимальной вибрации ПК в диапазоне частот до 800 Гц после превышения этого значения вибрация в этом же подшипнике может достичь предельной величины 7–8 мм/с (согласно [6] при 9 м/с<sup>2</sup> происходит интенсивный износ). Это возможно при повышенной микроволнистости колец, обусловленной низким классом их обработки. Микроволнистость хорошо видна в электронный и атомно-силовой микроскопы.

Во-вторых, в области низких частот микрораковины на кольцах не проявляются.

В-третьих, в новых ПК в области низких частот вибрация увеличивается при разноразмерности и гранности тел качения.

При вращении ротора и значительной разноразмерности тел ка-

чения происходит опрокидывание вала в ПК с частотой

$$f_1 = \frac{f_p R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})} z_T, \quad (3)$$

где  $f_p$  – частота вращения ротора, Гц;  $R_{вн}$  – радиус поверхности качения внутреннего кольца, мм;  $r_{ш}$  – радиус тел качения, мм;  $z_T$  – количество тел качения, ед.

Рассмотрим схему, приведенную на рисунке 1 [1]. Во время работы механизма, когда центр вала  $O'$  совпадает с центром шара  $A$ , вал находится в неустойчивом положении. При дальнейшем вращении вала шар  $A$  перемещается в положение  $A_1$ , и вал опрокидывается на шар  $C$ . Во время соударения вала, шара и колец кинетическая энергия равна работе силы

$$\frac{m V_0^2}{2} = Fh, \quad (4)$$

где  $m$  – масса ротора, кг;  $V_0$  – скорость падения вала в момент удара, м/с;  $F$  – радиальная сила, кг/см<sup>2</sup>·с;  $h$  – зазор в подшипнике, мм.

Сила удара зависит от величины зазора, массы ротора и скорости падения. В результате при медленном проворачивании наружного кольца в подшипниковом щите на кольцах по всей длине окружности образуются микрораковины. Если при этом наружное кольцо в щите поставлено с натягом, то ресурс ПК ограничится несколькими сотнями часов, а на кольце образуется выбоина, так как металл теряет устойчивость.

При разноразмерности тел качения также увеличивается вибрация внутреннего кольца на частоте

$$f_2 = (f_p - f_c) z_T \quad (5)$$

и вибрация тел качения между кольцами на частоте

$$f_3 = \frac{f_p R_{вн}}{2 r_{ш}} z_T. \quad (6)$$

При длительной эксплуатации оборудования на кольцах и телах качения образуются микрораковины, при этом уровень вибрации увеличивается в области частот более 1000 Гц. С ростом числа и площади микрораковин амплитудный спектр смещается в область низких частот.

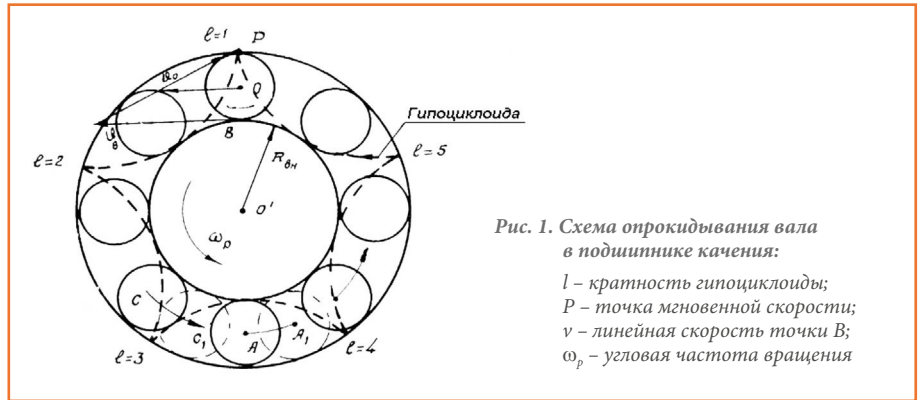


Рис. 1. Схема опрокидывания вала в подшипнике качения:  
 $l$  – кратность гипоциклоиды;  
 $P$  – точка мгновенной скорости;  
 $v$  – линейная скорость точки  $B$ ;  
 $\omega_p$  – угловая частота вращения

Следует заметить: какие бы способы обработки виброакустического сигнала ни применялись (огibaющий, вейвлет-преобразование, анализ прямого спектра вибрации), во всех случаях этот сигнал регистрируется с погрешностями и помехами.

Исследуя виброакустические характеристики новых ПК, авторы обратили внимание на то, что в диапазоне более 1000 Гц уровень вибрации может значительно варьироваться в зависимости от частоты. Например, в области 2000 Гц он может составить 75–85 дБ, а на частотах 3000 и 4000 Гц – 55–65 дБ. Или, наоборот, в области 3000 Гц уровень вибрации может быть 70–80 дБ, а на частотах 2000 и 4000 Гц значительно снизиться. Все это требовало объяснений.

Во время эксплуатации ПК износ внутреннего и наружного колец, а также тел качения происходит по-разному. ПК изготавливаются на разных станках и разными специалистами, следовательно, класс их обработки может быть разным. В ходе исследования количество ПК будем моделировать, изменяя значение коэффициента  $K$  от 3 до 50 в формулах (таблица 1). Тогда для подшипника 310 при частоте вращения вала двигателя 24,4 Гц определено:

- дефект наружного кольца (частота опрокидывания вала в подшипнике):  $f = 76$  Гц,  $fK = 228 \dots 3800$  Гц;
- дефект внутреннего кольца (вибрация, обусловленная разноразмерностью и гранностью тел качения):  $f = 123$  Гц,  $fK = 369 \dots 6150$  Гц;
- дефекты тел качения (вибрация, обусловленная разноразмерностью и гранностью тел качения):  $fK = 957 \dots 15\,950$  Гц.

Для лучшего восприятия указанных частотных зон на плоскости построим отрезки без масштаба с учетом частотного диапазона (рис. 2).

Исходя из расчета и рисунка 2 можно предположить, что на амплитудный спектр вибрации ПК будут влиять:

- в диапазоне 300–900 Гц – количество микрораковин на наружном и внутреннем кольцах;
- в диапазоне 900–3800 Гц – дефекты тел качения внутреннего и наружного колец;
- в диапазоне 4000–6000 Гц – дефекты внутреннего кольца и тел качения;
- после 6000 Гц – дефекты тел качения.

В виброакустических характеристиках ПК также наблюдается подобная динамика амплитудного спектра. Чис-

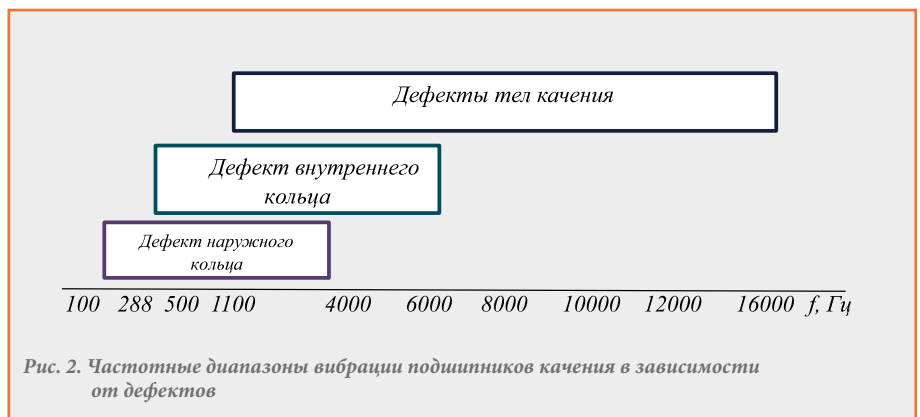


Рис. 2. Частотные диапазоны вибрации подшипников качения в зависимости от дефектов

ленное значение коэффициента К можно объяснить физическими процессами при работе ПК.

Во-первых, каждая условная точка на телах качения совершает движение между кольцами по гипоциклоиде [3]. Количество касаний / этой условной точки и колец вычисляется по соотношению длин окружности колец и тел качения. Как правило, для внутреннего кольца количество касаний составляет более 3, для наружного – более 5.

Во-вторых, на контактной поверхности тел качения и колец может быть любое число микрораковин. Это дает основание принимать значение коэффициента К равным 50 и более.

**Основные причины интенсивного износа подшипников качения**

Различают заводские и эксплуатационные дефекты ПК [1].

К заводским дефектам относятся: неравномерность зазоров между телами качения и кольцами (разные диаметры тел качения); повышенная волнистость колец; гранность тел качения; раковины на кольцах и телах качения.

К эксплуатационным дефектам относятся: заводские дефекты, которые приводят к интенсивному износу ПК; перекос наружного кольца; трещины на внутреннем кольце; износ сепаратора; износ тел качения; выбоины, задиры; наклеп, коррозия; микрораковины на кольцах; загрязнение или отсутствие смазки; лепестково-послойное разрушение поверхностного слоя подшипниковой стали на рабочей поверхности колец; овальность внутреннего кольца или посадочного места на валу.

Как показывает статистика повреждений ПК, наклепы на кольцах образуются в двух случаях: во время транспортировки двигателей при плохо закрепленном роторе и в неработающем двигателе при повышенной вибрации механизма, работающего рядом.

Большое значения для долговечности ПК имеет качество смазки. На рисунке 3 представлены спектры вибрации подшипника качения 311 с различной смазкой, на рисунке 4 – виброакустические характеристики электродвигателя с разными подшипниками и разными смазками. При периодической замене смазки во время работы подшипника качения срок его службы может составить более 10 лет.

На Лукомльской ГРЭС в мае 2020 года разрушился подшипник качения нижней опоры механизма РВП-6 «Б». Отслоившаяся тонкая пластина металла дорожки внутреннего кольца застряла между роликами и кольцом подшипника. Такие разрушения возможны при отсутствии смазки или при потере ее свойств.

**Лепестковое разрушение стали подшипника**

В работах [4, 5] ресурсные испытания подшипников ZVL6302/16 без смазочного материала показали, что сначала имеет место локальное во времени лепестковое разрушение поверхностного слоя подшипниковой стали (ШХ 15). Объясним механизм его возникновения.

Многоцикловое, знакопеременное и малоамплитудное нагружение по-

Таблица 1. Техническое диагностирование новых подшипников качения

Вид дефекта	Частота вибрации	Способ устранения
1 Овальность внутреннего кольца или посадочного места на валу	$2f_p$	Проверить овальность
2 Разноразмерность тел качения при К = 1	$\frac{f_p R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})} z_T K$ , частота опрокидывания вала в ПК при К = 1...50	При высоком уровне вибрации на данной частоте целесообразно заменить ПК. Менять смазку ежеквартально во время работы
3 Низкий класс обработки колец (повышенная микроволнистость)	Высокий уровень вибрации на частотах более 1000 Гц при К = 3...50	При высоком уровне вибрации в данной области частот заменить ПК или менять смазку ежеквартально во время работы
4 Разноразмерность тел качения	$(f_p - f_c) z_T$ – вибрация внутреннего кольца; $\frac{f_p R_{вн}}{2r_{ш}} z_T$ – вибрация тел качения	–

Таблица 2. Техническое диагностирование эксплуатационных дефектов подшипников качения

Вид дефекта	Частота вибрации	Способ устранения
1 Перекос наружного кольца	$\frac{f_p R_{вн}}{R_{вн} + r_{ш}} z_T$	Проверить качество монтажа
2 Микрораковины на наружном кольце	$\frac{f_p R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})} z_T K$ при К = 3...50 и более	Заменить ПК или менять смазку ежеквартально
3 Трещина на внутреннем кольце	$(f_p - f_c) z_T K$ при К > 2	Визуально, используя лупу, проверить кольца и при обнаружении трещины заменить ПК
4 Износ сепаратора	$\frac{f_p R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})}$ , $\frac{f_p R_{вн}}{2r_{ш}} z_T \pm \frac{f_p R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})}$	Заменить ПК
5 Износ тел качения	$\frac{f_p R_{вн}}{2r_{ш}} z_T K$ при К = 3...50	Заменить ПК или менять смазку ежеквартально
6 Микрораковины на внутреннем кольце	$(f_p - f_c) z_T K$ при К = 3...50	Заменить ПК или менять смазку ежеквартально
7 Выбоины, задиры, наклеп, коррозия	Во всем частотном диапазоне	Заменить ПК
8 Загрязнение смазки	Увеличение вибрации на первом этапе после 20 000 Гц, в дальнейшем – после 400 Гц	Менять смазку ежеквартально

верхностного слоя колец определяет накопление энергии трибонагружения и формирование дефектов на различных структурных уровнях деформации (нано-, микро-, мезо- и макроуровень).

На основании общих закономерностей кинетики структурных преобразований для металлов, имеющих объемно-центрированную и граничноцентрированную кубические решетки (ОЦК- и ГЦК-металлы), можно предположить, что на начальных этапах трибонагружения происходит трансформирование ячеистой структуры в квазиравномерное распределение дислокационных скоплений (начало формирования полос скольжения).

В силу многоциклового и знакопеременной деформации при трибонагружении, а также барьерной роли оксидных пленок на поверхности для выхода дислокаций, накопление скрытой энергии деформации этими слоями будет протекать в условиях интенсивного деформирования. Это определяет образование широких полос скольжения с обилием плоских дислокационных скоплений повышенной плотности.

В результате возникает сложнопластическое состояние подповерхностного объема металла с чередованием областей сжатия и растяжения. Увеличение числа заторможенных плоскостей скольжения и, как следствие, числа областей сжатия и растяжения приводит к появлению ротационных структур и зернограничному скольжению.

Возрастающая неравномерность дислокационных ансамблей вызывает поверхностные сдвиги и надрывы, являющиеся источниками микротрещин. В свою очередь, нарушение сплошности материала в виде микротрещин и пор и их коагуляция способствуют зарождению многочисленных очагов транс- и интеркристаллитного разрушения.

Установлено, что увеличение интенсивности и времени воздействия при трибонагружении приводит в итоге к фрагментации структуры поверхностного слоя стали, его селективному разрушению и, как следствие, возникновению задигов, схватыванию сопряженных поверхностей, разрушению сепаратора и заклиниванию подшипника (в данном случае ZVL6302/16).

Примерно за 300 с до заклинивания происходит интенсивное отделение ча-

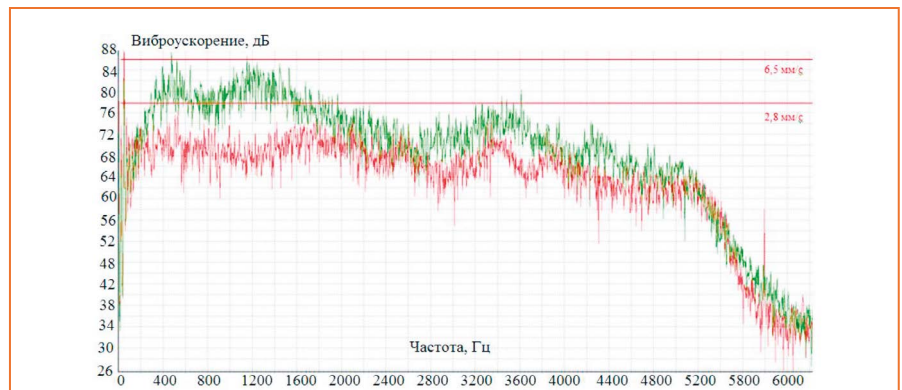


Рис. 3. Спектр вибрации подшипника качения 311 № 3 (зеленый – со старой смазкой, красный – после удаления старой смазки и добавления новой)

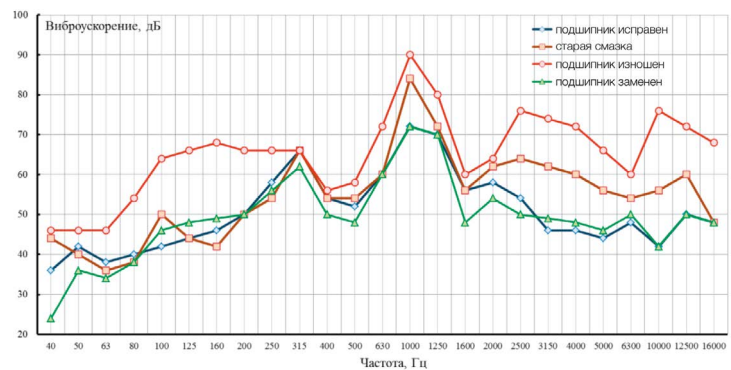


Рис. 4. Виброакустические характеристики двигателя АМ-71-4

стиц изнашивания темно-синего цвета, характерного для  $Fe_3O_4$ . При этом размер частиц значительно увеличен (до  $\approx 3$  мкм), что характерно для адгезионного изнашивания. Форма частиц – эллипс с большой полуосью  $\approx 1,5$  мкм и малой полуосью  $\approx 1$  мкм. Размер частиц соответствует размеру структур фрагментированного слоя и определяет увеличение поверхностного объема материала (сталь ШХ15), вовлеченного в деформацию при трибонагружении.

Размер частиц изнашивания свидетельствует о пластической деформации углеродистой стали на макромасштабном уровне. С инженерной точки зрения макролокализация пластической деформации всегда очень опасна. Последний этап разрушения оксидной пленки и поверхности стали характеризуется отслаиванием больших по площади лепестков и обнажением ювенильной поверхности стали. Наблюдается локальный во времени селективный механизм разрушения, характерный для адгезионного изнашивания, который сопровождается резким снижением контактного сопротивления до сопротивления сдвига. Адгезионно-селективный механизм характеризуется отслаи-

ванием частиц большого размера в определенном интервале времени ( $\approx 240-300$  с до заклинивания). Интенсивность изнашивания увеличивается на три-четыре порядка. Адгезионная составляющая коэффициента трения значительно увеличивается, что приводит к схватыванию сопряженных поверхностей и их заклиниванию, деформированию сепаратора и разрушению подшипника.

### Значение качества смазки

В работе [6] произведена оценка толщин, прочностных, антифрикционных и противозадирных свойств граничных смазочных слоев при изменении нагрузки и скорости. Это позволило авторам осуществить анализ эксплуатационных и противозадирных свойств моторных, трансмиссионных, редукторных, гидравлических масел для определения их качества.

Смазочный материал доставлялся в зону контакта путем погружения ролика в ванночку с исследуемым маслом. Функциональная схема экспериментального стенда представлена на рисунке 5.

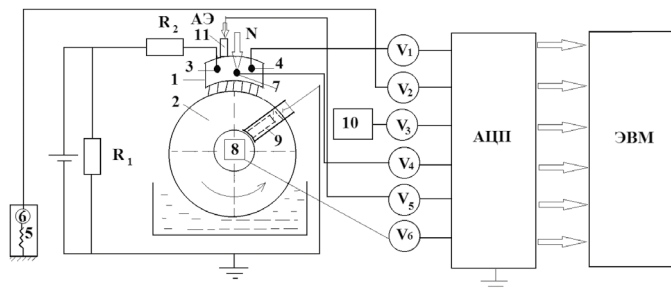


Рис. 5. Функциональная схема экспериментального стенда для оценки свойств смазочных масел:

1 – неподвижный электрод в виде сегмента; 2 – подвижный электрод в виде ролика; 3 – токовые электроды; 4 – потенциальные электроды; 5 – узел нагружения; 6 – датчик нагружения; 7 – термопара; 8 – индуктивный датчик для измерения момента трения; 9 – подпужиненная медно-графитовая щетка; 10 – привод с датчиком скорости; 11 – датчик акустической эмиссии (АЭ); АЦП – аналоговый цифровой преобразователь; ЭВМ – электронная вычислительная машина;  $R_1, R_2$  – омическое сопротивление, Ом;  $N$  – место нагружения подшипника;  $V_1 - V_6$  – контролируемые параметры напряжения, В

Линейная скорость относительного перемещения ролика составила 0,5 м/с, площадь сегмента –  $2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Поверхности сегментов и роликов (сталь марки 45) предварительно шлифовались и полировались до 12 класса шероховатости ( $R_a \sim 0,04$  мкм). Номинальное контактное давление находилось в диапазоне 0,5–10 МПа. Погрешность измерения коэффициента трения равна  $\pm 0,01$ . Снятие контролируемых параметров (момент трения, контактное сопротивление, температура, шероховатость поверхности) и анализ информации осуществлялись автоматически с использованием персонального компьютера.

Увеличение контактного давления и срабатывание присадок приводит вначале к утонению граничного смазочного слоя (ГСС) и снижению величины контактного сопротивления. В дальнейшем из-за нарушения сплошности ГСС и появления микрочастиц в зоне трения контактное сопротивление снижается до уровня металлической проводимости, характерной для сухого контакта без смазочного материала. При этом происходит скачкообразное увеличение флуктуаций и верхнего уровня контактного сопротивления до  $10^{-7}$  Ом и образуется задира, который сопровождается скачкообразным увеличением коэффициента трения (от 0,4 до 1) и температуры (до 190 °С).

Для увеличения срока службы ПК разработана пластичная смазка [7] и способы испытаний смазочных материалов [8–10].

### Выводы

1. Несовершенство методик технического диагностирования подшипников качения в основном обусловлено нормативными документами, которые разрабатывались на основе устаревшей теории вибрации подшипников качения.

2. Проведенные исследования показали, что самыми опасными дефектами новых подшипников являются разноразмерность тел качения и низкий класс обработки колец.

3. Разноразмерность тел качения приводит к опрокидыванию вала в подшипнике, что вызывает образование микрораковин на кольцах при условии медленного вращения наружного кольца в подшипниковом щите.

4. При установке подшипников качения в подшипниковый щит с натягом наружного кольца в процессе эксплуатации на наружном кольце при разноразмерности тел качения образуется выбоина на 7:30 или на 4:30 циферблата часов в зависимости от направления вращения ротора.

5. При наличии на кольцах подшипников повышенной микроволнистости или большого количества микрораковин уровень вибрации может быть предельным в диапазоне частот более 1000 Гц, в то время как в низкочастотном диапазоне он будет минимальным.

6. Периодическая ежеквартальная замена смазки во время работы подшипников увеличивает срок их службы даже при повышенной микроволнистости.

7. Выявлять дефекты в подшипниках качения целесообразно по результатам анализа их спектров вибрации в частотном диапазоне от 5 до 5000 Гц, а в некоторых случаях – до 10 000 Гц (в зависимости от частоты вращения ротора механизма).

### Список литературы

1. Грунтович, Ник.В. *Техническая диагностика электрооборудования: учеб.* / Ник.В. Грунтович, Над.В. Грунтович. – М.: Инфра-М, 2024. – 254 с.
2. Барков, А.В. *Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации* / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: ГМТУ, 2000. – С. 169.
3. Грунтович, Н.В. *Гипоциклоида частоты вибрации подшипников качения* / Н.В. Грунтович, И.В. Петров, Д.В. Курдищев // *Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тез. докл. Третьей междунар. конф. с элементами науч. школы.* – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2016. – С. 288–289.
4. *Estimation of Rolling-Contact Bearings Operational Properties by Electrical Probe Method* / O. Rekhitsky [et al.] // *International Journal of Engineering Research and Science.* – 2016. – Vol. 2, iss. 2. – P. 79–85.
5. Korotkevich, S.V. *Nondestructive Testing of Rolling Bearings* / S.V. Korotkevich // *International Journal of Scientific Research.* – 2017. – Vol. 6, iss. 12. – P. 478–484.
6. Короткевич, С.В. *Износостойкость металлов при граничном трении: моногр.* / С.В. Короткевич, В.Г. Пинчук, С.О. Бобович; М-во образования Респ. Беларусь; ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ, 2011. – 240 с.
7. *Пластичная смазка для опоры качения: пат. 22135 Респ. Беларусь: МПК С 10М 147/00 / В.Г. Пинчук, С.В. Короткевич, С.О. Бобович, В.В. Кравченко; дата публ.: 30.08.2018 // Офци. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности.* – 2018. – № 4. – С. 89.
8. *Способ определения толщины граничного смазочного слоя нанометрового диапазона в подшипнике качения: пат. 24132 Респ. Беларусь: МПК G 01 M 13/04 / И.Н. Ковалева, О.В. Холодилов, В.Г. Курдицкий, Ф.А. Григорьев, С.В. Короткевич; дата публ.: 30.12.2023 // Офци. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности.* – 2023. – № 6. – С. 56.
9. *Способ диагностики подшипников качения: пат. 20175 Респ. Беларусь: МПК G 01 M 13/04 / С.В. Короткевич, В.В. Кравченко, О.В. Холодилов [и др.]; дата публ.: 30.06.2016 // Нац. центр интеллектуал. собственности.* – 2016. – № 3. – С. 94.
10. *Способ оценки противозадирных и противозносных свойств смазочного материала: пат. 11306 Респ. Беларусь: МПК G 01 N 3/56 / С.В. Короткевич, О.В. Холодилов, В.В. Кравченко [и др.]; дата публ.: 30.10.2008 // Нац. центр интеллектуал. собственности.* – 2008. – № 5. – С. 126.



# НАРАЩИВАЕМ ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

**ОАО «Белэнергоремналадка» – крупнейшая в Республике Беларусь организация, специализирующаяся на ремонте, монтаже, наладке, диагностике и обслуживании энергетического оборудования, начиная от небольших ТЭЦ и заканчивая Белорусской АЭС. Главный актив предприятия – высококвалифицированный инженерный и рабочий персонал, обладающий многолетним опытом работы на энергетических объектах в Республике Беларусь, странах ближнего и дальнего зарубежья.**

## История успеха

Начало деятельности предприятия было положено в 1957 году – в период активного развития Белорусской энергосистемы, ввода новых мощностей, строительства крупных тепловых электростанций. Тогда специализированное ремонтное предприятие «Белорусэнергоремонт» занималось соответствующими работами на энергетических объектах. В 1973 году к нему было присоединено наладочное предприятие «Белорусэнергоналадка», что существенно повысило производственный потенциал и позволило в дальнейшем выполнять полный комплекс работ по ремонту и наладке энергооборудования. По уровню технической оснащенности и компетентности персонала БРНП «Белэнергоремналадка» лидировало не только в Белорусской энергосистеме, но и среди профильных организаций Советского Союза и неоднократно занимало призовые места по итогам всесоюзных соревнований.

В советский период экспортная деятельность в энергетике осуществлялась исключительно под патронажем внешнеэкономических объединений («Зарубежэнергостроймонтаж», «Технопромэкспорт», «Тяжпромэкспорт»), которые заключали комплексные контракты на поставку, монтаж и ввод в эксплуатацию объектов, а также подбирали специалистов необходимой квалификации на предприятиях. В числе таких предприятий было и БРНП «Белэнергоремналадка».

Квалифицированный инженерный и рабочий персонал БЭРН уже тогда был востребован не только на территории СССР. Начиная с 1970-х годов инженерно-технические работники, бригадиры, слесари, сварщики предприятия принимали участие в строительстве, вводе в эксплуатацию и ремонте оборудования электростанций и распределительных подстанций за рубежом. Его специалисты были известны в таких странах, как ГДР, Египет, Индия, Иран, Куба, Нигерия, Пакистан, Сирия, Югославия и др.

## Внешиэкономическая деятельность

Этап самостоятельной внешнеэкономической деятельности предприятия начался в период распада СССР, когда разрывались привычные хозяйственные связи, закрывались многие предприятия. В этих условиях БРНП «Белэнергоремналадка» стало активно продвигать свои услуги за рубежом. Тогда как нельзя кстати оказались наработанные связи с ведущими экспортными организациями Советского Союза, имидж компетентного и ответственного подрядчика, обладающего квалифицированным персоналом, опыт, приобретенный на зарубежных объектах, знание современных методов ведения работ и международных требований.

В 1991 году предприятием был самостоятельно заключен первый внешнеэкономический контракт с ВО «Технопромэкспорт» на выполнение функций инженера-консультанта при восстановлении и пуске энергоблока 315 МВт ст. № 3 ТЭС «Рамин» в городе Ахваз (Иран). Безукоризненно выполненные обязательства позволили предприятию в дальнейшем заключить еще ряд контрактов на выполнение работ на ТЭС «Рамин». В частности, оно осуществляло надзор за монтажом, перепроектирование, пусконаладку и пуск блока № 4 станции; пусконаладочные работы при монтаже, пуск, оперативное управление оборудованием в период гарантийной эксплуатации, гарантийные испытания блоков № 5 и № 6 до 2002 года. В соответствии с условиями контрактов специалистами предприятия проводилось теоретическое обучение и практическая подготовка иранского персонала на действующем оборудовании.

В период выполнения работ на ТЭС «Рамин» специалисты БЭРН приняли участие в наладке и пуске блоков № 5–8 другой иранской электростанции – ТЭС «Шахид Монтазери» в городе Исфахан.

В 1996 году предприятие было преобразовано в открытое акционерное общество «Белэнерго-



ремналадка», сохранив при этом свою структуру, кадровый потенциал и технические возможности.

С 2002 года ОАО «Белэнергоремналадка» начало активно осваивать другие зарубежные рынки сбыта. География экспорта услуг Общества за прошедшие годы значительно расширилась: помимо названных стран это Армения, Бангладеш, Греция, Грузия, Ирак, Кипр, Литва, Молдова, Узбекистан, Финляндия, Эстония и, конечно, Россия.

### Сотрудничество с Российской Федерацией

В последние годы основным внешним рынком для сбыта продукции и услуг ОАО «Белэнергоремналадка» является Российская Федерация. Ограничения для работы на этом рынке сегодня практически отсутствуют – у Общества есть все необходимые разрешительные документы (сертификат саморегулируемой организации, аттестация персонала и сварочных технологий). Немаловажные факторы успешного сотрудничества – оснащенность электростанций России оборудованием, которое хорошо знакомо белорусским специалистам, и схожесть подходов к организации сервиса оборудования.

За прошедшие 20 лет ОАО «Белэнергоремналадка» успешно реализовало более 400 договоров с российскими организациями, выполнив огромный объем работ на объектах от Калининграда до Камчатки.

#### СПРАВОЧНО:

**ПАО «Северсталь»** – крупнейшая компания России в сфере горнодобывающей и металлургической промышленности. Холдинг владеет вторым по величине в РФ сталелитейным предприятием – Череповецким металлургическим комбинатом. По версии *Forbes*, «Северсталь» занимает 16-е место в рейтинге 200 крупнейших частных компаний России с выручкой 494,8 млрд руб. за 2020 год.

**ПАО «Юнипро»** – наиболее эффективная российская компания в секторе тепловой генерации. В состав «Юнипро» входят пять тепловых электростанций общей мощностью свыше 11 285 МВт: Сургутская ГРЭС-2 (5687,1 МВт), Березовская ГРЭС (2420 МВт), Шатурская ГРЭС (1500 МВт), Яйвинская ГРЭС (1048 МВт) и Смоленская ГРЭС (630 МВт).

Не стал исключением и 2023 год. В этот период в России было реализовано множество проектов по ремонту и наладке энергетического оборудования, успешно выполнялись поставленные задачи по удержанию и укреплению позиций на предприятиях крупнейших заказчиков услуг Общества – ПАО «Северсталь» и ПАО «Юнипро». Экспортировано услуг на \$ 2,5 млн. В первую очередь этого удалось достичь за счет сохранения высокого качества и безусловного соблюдения сроков работ.

В настоящее время предприятие продолжает сотрудничать со своими партнерами из России и других стран. Это АО «Уральский турбинный завод», ООО «ГЭХ ТЭР», АО «Русатом Сервис», ООО «Мтквари Энерджи» (Грузия), ОАО «Молдавский металлургический завод» (Молдова) и ряд других компаний.

### Перспективы

Одной из важнейших задач Общества является дальнейшее наращивание экспортного потенциала, сохранение и развитие взаимовыгодного сотрудничества с постоянными партнерами за рубежом. Усилия в этом направлении дают свои результаты: в портфеле заказов БЭРН на текущий год – подписанные экспортные контракты на общую сумму до \$ 3 млн.

ОАО «Белэнергоремналадка» не останавливается на достигнутом, продолжает поиск новых надежных партнеров, прорабатывает возможности диверсификации экспорта. С целью закрепления позиций на объектах стратегических заказчиков услуг предприятием создан постоянно действующий участок на Череповецком металлургическом комбинате, рассматривается перспектива создания ремонтного участка на Смоленской ГРЭС.

Безусловно, ОАО «Белэнергоремналадка» всегда было и будет нацелено на эффективную реализацию ремонтной кампании на объектах Белорусской энергосистемы, при этом экспорт услуг остается одним из приоритетов предприятия.

### Миссия и ценности предприятия

**Миссией** ОАО «Белэнергоремналадка» является выполнение комплекса проектных, конструкторских, строительно-монтажных, ремонтных и наладочных работ; изготовление оборудования, металлических изделий (конструкций) и запасных частей для надежной и экономичной работы объектов энергетики и других отраслей промышленности.



В своей работе ОАО «Белэнергоремналадка» придерживается следующих **ценностей**:

- **внимание к заказчику.** Мы уважаем и ценим наших заказчиков, тщательно изучаем их потребности и оперативно реагируем на их нужды. Наши заказчики всегда могут рассчитывать на получение оперативной и компетентной помощи в сложных ситуациях. Мы развиваемся вместе с ними и для них;
- **работа в команде.** Мы осознаем, что результат достигается только благодаря слаженной работе всей команды. Поэтому наши действия основываются на доверии, взаимопомощи, ответственности за принятие и выполнение командных решений. Мы вместе создаем достойные условия труда и стабильную занятость;
- **компетентность.** Наши специалисты являются наиболее квалифицированными в отрасли. Мы выполняем задачи любой сложности с гарантированным результатом;
- **комплексный подход.** Мы ориентированы на выполнение работ под ключ при минимальном участии заказчика;
- **ответственность.** Мы в полной мере отвечаем перед заказчиками за результаты своей работы. Мы уважаем и соблюдаем корпоративные правила и требуем этого от коллег;
- **сохранение традиций.** Мы сохраняем и чтим свои традиции, сложившиеся за более чем 60-летнюю историю организации.

### Основные направления деятельности

Предприятие занимает лидирующие позиции в Беларуси в области ремонта и наладки энергетического оборудования и оказания комплексных услуг при строительстве энергообъектов.

Основные направления деятельности ОАО «Белэнергоремналадка»:

- монтаж, ремонт и модернизация турбин всех типов и их вспомогательного оборудования;
- проектирование (конструирование) элементов, монтаж, ремонт, модернизация и реконструкция котлоагрегатов всех типов и их вспомогательного оборудования;
- строительство и реконструкция энергетических объектов с выполнением функций генерального подрядчика;
- монтаж и ремонт генераторов, трансформаторов, электродвигателей, выключателей, вспомогательного и другого электротехнического оборудо-

вания электростанций, тепловых сетей, подстанций и промышленных предприятий;

- комплекс пусконаладочных, режимно-наладочных, диагностических работ на тепломеханическом, электротехническом оборудовании электростанций, подстанций, котельных, насосных тепловых сетей;
- изготовление теплотехнических и электротехнических изделий, запасных частей и узлов энергетического оборудования, металлоконструкций;
- техническое диагностирование энергооборудования, включая испытания, исследования, контроль качества металла и сварных соединений, определение остаточного ресурса;
- разработка новых технологических решений, позволяющих улучшить экономические показатели и повысить надежность работы энергооборудования;
- обучение и аттестация сварщиков.

В ОАО «Белэнергоремналадка» действует система менеджмента качества, соответствующая требованиям стандартов ISO 9001:2015 и ISO 45001:2018. Современная производственно-техническая база позволяет предприятию предоставлять заказчикам и реализовывать уникальные решения по ремонту, наладке и вводу в эксплуатацию энергетического оборудования.



## БЕЛЭНЕРГОРЕМНАЛАДКА

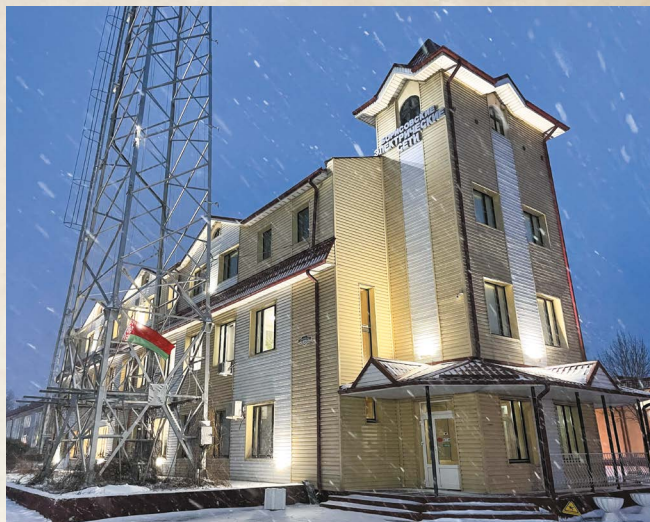
220012, г. Минск, ул. Академическая, 18  
 +375 17 293-53-59  
 +375 17 290-95-30 (факс)  
 mail@bern.by  
 bern.by



УНП 100345505

# Дорога длиной в 80 лет

1 июля филиал «Борисовские электрические сети» РУП «Минскэнерго» отметил 80-летний юбилей. Восемь десятилетий – это целая эпоха, наполненная созидательным трудом, испытаниями и победами. Сегодня коллектив предприятия стабильно обеспечивает энергетическую безопасность зоны обслуживания и с уверенностью смотрит в будущее. Мы убеждены, что, сохраняя память о прошлом и строя планы на перспективу, можно достичь новых высот.



## Начало пути

1 июля 1944 года частями Красной армии из г. Борисова были изгнаны немецко-фашистские оккупанты. Уходя, они поспешно уничтожали все, что не могли вывезти в Германию, – и в первую очередь взорвали и сожгли электростанцию имени Ленина, разрушили и привели в негодность оборудование всех распределительных подстанций города.

Каждому жителю было непонятно, что без электроэнергии невозможно поставить на ноги промышленность, даже если предприятия будут отстроены в кратчайшие сроки. Поэтому уже в первый день освобождения руководство горкома партии и горисполкома приняло решение о восстановлении электроснабжения Борисова. И в тот же день приказом № 1 в Борисовские электросети были зачислены на работу 13 электромонтеров.

За короткий срок были построены 25 км высоковольтной линии, а также десятки километров сетей низкого напряжения. И ровно через месяц, 1 августа 1944 года, предприятия Борисова получили первую энергию.

## Этапы развития

Последующие годы характеризовались усиленными темпами электрификации. В 1963 году был создан Борисовский сельский электросетевой район, в который вошли шесть административных районов: Борисовский, Крупский, Смолевичский, Логойский, Червеньский и Березинский. Уже к 1967 году их электрификация была завершена, все колхозы и совхозы подключены к государственной энергосистеме. На тот момент Борисовский сельский электросетевой район обслуживал свыше 1650 трансформаторных подстанций и 9 тыс. км сетей различного напряжения.

С апреля 1967 года в Борисове заработала новая ремонтно-производственная база для обслуживания сетевого хозяйства. А в 1968-м Борисовский электросетевой район был преобразован в предприятие электрических сетей, которое к 1969 году стало самым крупным в Минской области: его персонал обслуживал 45 подстанций напряжением 35–110 кВ, около 2000 трансформаторных пунктов и 8,5 тыс. км ЛЭП.

Следующей значимой для коллектива датой стал 1984 год, когда была введена в эксплуатацию ПС 330 кВ «Борисов». В 1989 году предприятие электросетей было реорганизовано в филиал «Борисовские электрические сети», который вошел в состав производственного объединения энергетики и электрификации «Минскэнерго». С каждым последующим годом предприятие развивалось и достигало новых высот.



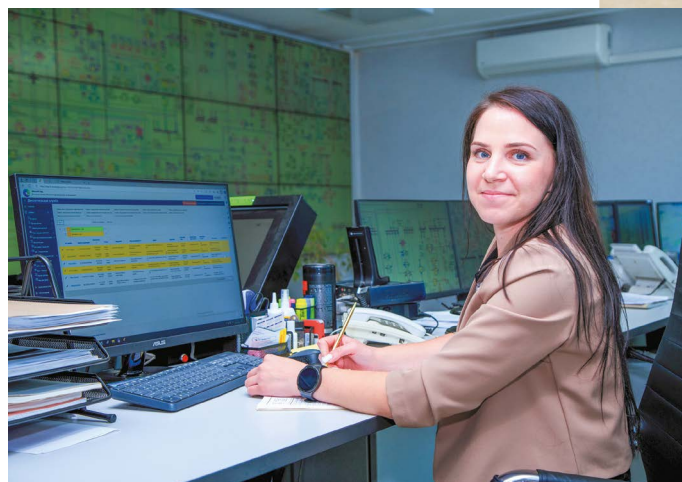
## Борисовские электросети сегодня

Сейчас филиал – это сложный механизм, который обслуживает г. Жодино и шесть административных районов республики, а это ни много ни мало около 12 492 км<sup>2</sup> территории с населением порядка 380 тыс. человек. На балансе филиала 77 подстанций 35–330 кВ суммарной мощностью 1673,3 МВА, 4199 трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ мощностью 909,559 МВА, почти 1760 км ЛЭП напряжением 35–330 кВ и более 12,9 тыс. км – напряжением 04–10 кВ.

Как и 80 лет назад, главной ценностью для предприятия остаются его работники. Начав свой путь с бригады из 13 электромонтеров, к настоящему времени филиал «Борисовские электрические сети» РУП «Минскэнерго» увеличил численность своего персонала до 1042 человек.

Наш коллектив сплочен одной целью – обеспечить устойчивость электроснабжения предприятий, учреждений и населения района. Несмотря на всю сложность и зачастую опасность работ по обслуживанию сетей, ликвидации последствий нештатных ситуаций, плановым ремонтам оборудования, работники Борисовских электросетей из всех испытаний выходят с честью, трудятся добросовестно и с полной отдачей сил. Благодаря их профессионализму филиал достойно справляется с поставленными задачами и обеспечивает надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей.

Филиал «Борисовские электрические сети» гордится своей историей, помнит и чтит своих ветеранов. Мы благодарны всем, кто внес вклад в развитие предприятия и заложил прочный фундамент для его успешного будущего.



## БОРИСОВСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

филиал РУП «Минскэнерго»

222518, г. Борисов, ул. Строителей, 12  
Факс: (8-0177) 73-21-64  
office\_bes@minskenergo.by

УПН 100071593



## ТИБО-2024: цифровое будущее начинается сегодня

5–8 июня в Минске прошел XXX Международный форум по информационно-коммуникационным технологиям ТИБО-2024. Его основными темами стали укрепление технологического суверенитета, обеспечение кибербезопасности, защита персональных данных, цифровизация и искусственный интеллект. В выставке форума на площадке «Минск-арены» приняли участие 260 компаний из 5 стран. Одним из информационных партнеров форума выступил журнал Министерства энергетики «Энергетическая стратегия».

В рамках юбилейного ТИБО прошли IV форум «Цифровая экономика», VI Евразийский цифровой форум, VII Белорусский ИКТ-саммит, международная научно-практическая конференция по технологиям искусственного интеллекта, молодежный форум «Мы – будущее цифровой Беларуси». А еще фестивали, конкурсы, турниры, семинары и круглые столы, посвященные «цифре» во всех ее проявлениях.

6 июня в рамках IV форума «Цифровая экономика» под председательством заместителя Министра энергетики Ольги Прудниковой состоялось тематическое заседание «Smart Energy: цифровая трансформация энергетической и газовой отраслей» с участием представителей Минэнерго Беларуси, организаций ГПО «Белэнерго» и ГПО «Белтопгаз» (включая отраслевые офисы цифровизации), а также ряда российских компаний (АО «ТВЭЛ», АО «Атомстройэкспорт», ООО «ДЖЭТ ЛАБ» и др.).

Открывая заседание, Ольга Прудникова отметила, что цифровые технологии все активнее входят в нашу жизнь, но появляются новые вызовы и зада-





чи. В отрасли созданы офисы цифровизации, создаются центры кибербезопасности. Заместитель Министра выразила надежду, что они начнут активнее работать и предлагать консолидированные решения для отраслевых проблем.

Центральная экспозиция форума развернулась под слоганом «Цифровое будущее начинается сегодня». На коллективном стенде ГПО «Белэнерго» свои разработки в сфере автоматизации и цифровой трансформации продемонстрировали все энергоснабжающие организации объединения. Кроме того, ОАО «Белэнергоремналадка» презентовало комплекс услуг по реверс-инжинирингу, РУП «Белнипиэнергопром» – технологии BIM-проектирования. Разработчиком и организатором стенда выступило ОАО «Экономэнерго».

Экспозиция достижений белорусских энергетиков привлекала посетителей яркой мультимедийной картинкой, большим выбором информационной продукции, возможностью понаблюдать за работой 3D-принтера и 3D-сканера, опробовать на себе VR-тренажер или совершить виртуальный тур по объектам энергосистемы. Всего организации Минэнерго представили на форуме более 40 проектов в сфере ИКТ.

В первый день форума стенд посетил Министр энергетики Беларуси Виктор Каранкевич. Он констатировал, что цифровизация в энергосистеме обеспечивает повышение надежности и качества энергоснабжения, а лучший опыт и достижения в этой сфере необходимо тиражировать. «Главная задача при этом – создание в отрасли единого цифрового пространства, которое охватывает все технологические и производственные процессы», – подчеркнул Министр.

На полях форума был подписан ряд документов по развитию ИКТ, в том числе дорожная карта сотрудничества ГПО «Белэнерго» и РУП «Центр цифрового развития» в области научно-методического обеспечения процессов информатизации, бизнес-анализа, создания информационных систем и предоставления услуг в области IT. Заключены также соглашения о сотрудничестве между РУП «Центр цифрового развития» и РУП «Гродноэнерго», между ОАО «Белэнергоремналадка» и АО «Инженерно-технический центр ДЖЭТ» (Россия) и др.

8 июня состоялась церемония награждения победителей и призеров XXI конкурса «Интернет-премия ТИБО». В номинации «Органы государственного управления и власти» Министерство энергетики отмечено специальным дипломом за активную информационную работу.

*Дарья Лемехова*





А.Я. САВАСТИЁНОК,  
к.т.н., доцент, заведующий  
кафедрой «Газоснабжение»  
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»

# ЕДИНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ – ОСНОВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ МАШИННОГО ПОНИМАНИЯ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Перспективное внедрение искусственного интеллекта (ИИ) на объектах энергетической инфраструктуры предъявляет особые требования к терминологии, используемой в технических и локальных нормативных правовых актах. В частности, серьезную проблему для обеспечения машинного понимания текста системами ИИ представляет употребление в нормативных документах синонимов, а также терминов без точных определений. Решением этой проблемы может стать семантический анализ текстов нормативных актов, который позволит привести терминологию к строгому единообразию и однозначному толкованию там, где это возможно.

## Актуальность вопроса

Проблема машинного понимания текстов в ближайшее время будет оставаться в числе наиболее актуальных для систем ИИ [1]. На текущем этапе обеспечение такого понимания подразумевает решение двух задач:

- обработка естественного языка (Natural Language Processing, NLP), в процессе которой сплошной поток символов, поступающий в машину, приобретает структуру текста, построенного в соответствии с законами естественного языка;
- представление знаний (Knowledge Representation, KR), то есть отображение входной текстовой информации на естественном языке в форме, подходящей для дальнейшей машинной обработки.

Важной подзадачей обработки естественного языка является семантический анализ (семантика – раздел лингвистики, изучающий смысловое значение единиц языка). На этапе распознавания смыслов в обрабатываемом тексте не должно возникать путаницы из-за употребления сино-

нимов. Если семантический анализ затруднен, это приведет к ошибкам в представлении знаний системам ИИ. В связи с этим к строгости терминологии, применяемой в ТНПА и ЛНПА, предъявляются особые требования [2].

## Применение синонимических терминов

Рассмотрим проблему на примере употребления синонимов термина «трубопроводная арматура».

Так, в Правилах по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения [3] указано следующее (здесь и далее курсив автора): «Для газоиспользующего оборудования мощностью свыше 100 кВт горелки должны быть оснащены автоматическим устройством герметичности **запорной арматуры**».

Врезка газопровода к ЗЗУ горелок газоиспользующего оборудования должна быть выполнена до последнего по ходу газа **ПЗК**».

ГОСТ 21204 [4] определяет, что автоматические и полуавтоматические

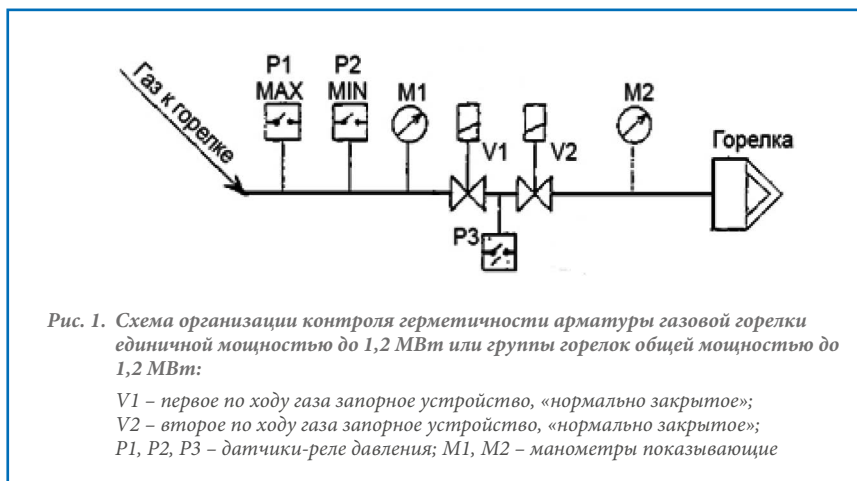
горелки номинальной тепловой мощностью до 1,2 МВт включительно должны быть оборудованы «двумя автоматическими **запорными топливными органами** класса А», свыше 1,2 МВт – «двумя **автоматическими запорными топливными органами** класса А» и «автоматическим органом утечки газообразного топлива для соединения с атмосферой участка топливного тракта между указанными **запорными органами** после отключения газа на горелку и автоматическим устройством контроля герметичности».

В свою очередь, в соответствии с СН 4.03.01 [5], «на газопроводах промышленных (в том числе котельных), сельскохозяйственных предприятий, предприятий бытового обслуживания производственного характера следует предусматривать продувочные трубопроводы от наиболее удаленных от места ввода участков газопровода, а также от отводов к каждому агрегату перед последним по ходу газа **отключающим устройством**».

Таким образом, в различных нормативных документах в качестве синонимов используются термины «за-

Сравнение терминологии по ГОСТ и ЛНПА

Терминология ГОСТ 24856	Терминология ЛНПА
<b>Отключающая арматура</b> – арматура, предназначенная для перекрытия потока рабочей среды при превышении заданной величины скорости ее течения за счет изменения перепада давления на чувствительном элементе либо в случае изменения заданной величины давления	Предохранительно-запорный клапан (ПЗК)
<b>Предохранительный клапан</b> – клапан, предназначенный для автоматической защиты оборудования и трубопроводов от превышения давления свыше заранее установленной величины посредством сброса избытка рабочей среды и обеспечивающий прекращение сброса при давлении закрытия и восстановлении рабочего давления	Предохранительно-сбросной клапан (ПСК)
<b>Клапан</b> (не рекомендуется «вентиль») – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается параллельно оси потока рабочей среды	Вентиль
<b>Отсечная арматура</b> (не рекомендуется «быстродействующая арматура») – запорная арматура с минимальным временем срабатывания, обусловленным требованиями технологического процесса. <b>Отсечной клапан</b> – отсечная арматура, конструктивно выполненная в виде клапана	ПЗК
<b>Плунжер</b> – подвижный регулирующий элемент затвора регулирующего клапана, перемещением которого достигается изменение пропускной способности. <b>Золотник</b> – запирающий элемент затвора клапанов	Клапан



порная арматура», «ПЗК», «запорный (топливный) орган», «отключающее устройство», существенно различающиеся по написанию, что важно для распознавания и обработки текста ИИ.

Рассмотрим соответствующую терминологию ГОСТ 24856 [6] и ЛНПА. Для понимания вопроса напомним, что в соответствии с определением ГОСТ 24856 [6] трубопроводная арматура – это «техническое устройство, устанавливаемое на трубопроводах и емкостях, предназначенное для управления (перекрытия, регулирования, распределения, смешивания, фазоразделения) потоком рабочей среды (жидких, газообразных, газожид-

костных, порошкообразных суспензий и т.п.) путем изменения площади проходного сечения». При этом по видам (функциональному назначению) арматура делится на запорную, регулируемую, предохранительную, обратную, отключающую и др. Выделяются такие типы арматуры, как задвижка, клапан, кран, дисковый затвор. Для обозначения всех этих видов и типов арматуры в ТНПА употребляются разные термины, при этом терминология ГОСТ и ЛНПА существенно различается, что усложняет решение проблемы машинного понимания текста.

Следует отметить, что и в самом ГОСТ [6] применены разные термины в отношении одних и тех же понятий.

Так, в нем встречаются следующие формулировки: «клапан закрывается, когда **золотник** вплотную подходит к седлу»; «регулятор закрывается, когда **плунжер** вплотную подходит к седлу».

Сравнение терминологии ГОСТ [6] и ЛНПА приведено в таблице.

Применение терминов без точных определений

Еще одним препятствием на пути внедрения систем ИИ является отсутствие в нормативной литературе определений важных терминов. В качестве примера рассмотрим термин «газопровод безопасности».

Газопровод безопасности предназначен для предотвращения газования топки газоиспользующей установки и предупреждения взрыва. Термин встречается в строительных нормах [5]. В частности, данными нормами запрещено объединение продувочных газопроводов и газопровода безопасности.

При этом определение термина в ТНПА и ЛНПА отсутствует. С учетом положений ГОСТ 21204 [4] автор предлагает следующее определение газопровода безопасности: газопровод для соединения с атмосферой участка топливного тракта между запорной арматурой (клапанами) горелок мощностью свыше 1,2 МВт.

Таким образом, в соответствии с [4] газопровод безопасности не нужен, если мощность горелки менее 1,2 МВт. В таких случаях для уменьшения объема газопровода между клапанами устанавливается ряд блоков клапанов, что позволяет сократить время тестирования герметичности арматуры газовой горелки (рис. 1). Если же мощность горелки превышает 1,2 МВт, то перед последним клапаном устанавливается не продувочный газопровод, а газопровод безопасности (рис. 2).

Таким образом, определение термина «газопровод безопасности» даст точное представление о том, какая схема организации контроля герметичности арматуры газовой горелки применена в том или ином случае, а корректное употребление этого термина в ТНПА и ЛНПА будет способствовать обеспечению машинного понимания текста этих нормативных актов.

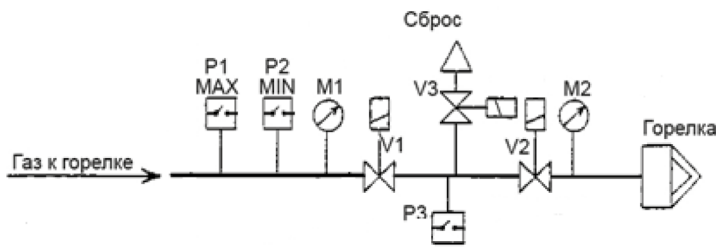


Рис. 2. Схема организации контроля герметичности арматуры газовой горелки единичной мощностью более 1,2 МВт:

V3 – запорная арматура газопроводе безопасности, «нормально открытая»

### Заключение

Решение проблемы понимания естественного языка в системах ИИ предполагает использование в нормативных документах единой и точной технической терминологии, что значительно упростит семантический анализ текста. На конкретных примерах показано, что в нормативных документах, регулирующих технические вопросы газоснабжения, не всегда правильно

используется терминология ГОСТ. Поднята также проблема отсутствия в нормативной литературе определений важных терминов и продемонстрирована значимость точности этих определений для единообразного понимания текстов.

Внедрение ИИ подразумевает стратегию, рассчитанную на годы вперед, и один из ее ключевых моментов – приведение всех ТНПА и ЛНПА к единой терминологии.

### Список литературы

1. Максимов, В.Ю. Проблема понимания в системах искусственного интеллекта / В.Ю. Максимов, Э.С. Клышинский, Н.В. Антонов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – № 19. – С. 43–60.
2. Винокурова, Т.Н. Терминологическое заимствование как основной способ обогащения подязыка искусственного интеллекта / Т.Н. Винокурова // Международный науч.-исследоват. журн. – 2016. – № 4. – С. 63–65.
3. Правила по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения: постановление МЧС Респ. Беларусь, 05 дек. 2022 г., № 66. – Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2023. – № 8/39537.
4. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования: ГОСТ 21204-97. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Госстандарт, 2002. – 16 с.
5. Газораспределение и газопотребление: СН 4.03.01-2019. – Введ. 26.12.2019. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 106 с.
6. Арматура трубопроводная. Термины и определения: ГОСТ 24856-2014. – Введ. 01.04.2015. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 78 с.

### К сведению

## В организациях Минэнерго прошла Неделя нулевого травматизма

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Стать лидером                                       | показать приверженность принципам   |
| 2. Выявлять угрозы                                     | контролировать риски                |
| 3. Определять цели                                     | разрабатывать программы             |
| 4. Создать систему безопасности труда                  | достичь высокого уровня организации |
| 5. Обеспечить безопасность и гигиену на рабочих местах | при эксплуатации оборудования       |
| 6. Повышать квалификацию                               | развивать профессиональные навыки   |
| 7. Инвестировать в кадры                               | мотивировать посредством участия    |

**«Vision Zero»**  
ИЛИ  
**«Нулевой травматизм»**  
качественно новый подход к организации профилактики, объединяющий три направления – **безопасность, гигиену труда и благополучие работников** на всех уровнях производства



С 17 по 23 июня в организациях Минэнерго прошла Неделя нулевого травматизма. В рамках акции на собраниях трудовых коллективов обсуждались меры по повышению безопасности работников при производственной деятельности, предложения по охране труда и предупреждению несчастных случаев. Особое внимание было уделено требованиям законодательства к безопасному выполнению работ на высоте, а также к передвижению персонала по территории и производственным помещениям предприятий.

Целью акции является обеспечение безопасности и здоровья работников на рабочих местах, профилактика производственного травматизма в организациях, оперативное выявление нарушений норм охраны труда, выработка и совершенствование мер по их устранению.

Д.Е. МАСТЕПАНОВ,  
главный инженер филиала  
Госэнергогазнадзора  
по Гомельской области



Н.Н. КИСЕЛЕВ,  
начальник ПТО филиала  
Госэнергогазнадзора  
по Гомельской области



## РЕАЛИЗАЦИЯ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА ПО ПЕРЕВОДУ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ

В рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы впервые в Беларуси был полностью переведен на электроотопление один из населенных пунктов Гомельской области. Пилотный проект реализован в агрогородке Великий Бор. К началу зимы 2023/2024 года 240 домов и квартир вместо сжиженного газа и твердого топлива начали использовать для отопления, горячего водоснабжения и пищевого приготовления электроэнергию. В январе 2024 года электропотребление в населенном пункте в 6 раз превысило январский показатель 2023 года и в 10 раз – 2022-го. В республике до 2030 года планируется перевести на электронагрев жилой фонд еще 19 населенных пунктов Гомельской области, пострадавших от чернобыльской аварии.

**В**о исполнение постановления Министерства энергетики и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 2 марта 2023 года № 10/12 «О переводе жилищного фонда на территории радиоактивного загрязнения на использование электрической энергии» и решения Хойникского райисполкома от 7 апреля 2023 года № 373 филиалу «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго» было поручено осуществить проектные, изыскательские и строительные работы по переводу жилых домов н.п. Великий Бор Хойникского района Гомельской области, находящегося в зоне радиоактивного загрязнения, со сжиженного газа на использование электроэнергии для отопления, горячего водоснабжения и пищевого приготовления. Переводу подлежало 235 абонентов многоквартирного жилого фонда и частных жилых домов.

### Особенности реализации проекта

В рамках пилотного проекта для обеспечения необходимой пропускной способности электросетевой инфраструктуры в агрогородке Великий Бор была выполнена реконструкция

порядка 19 км сетей, а также заменено устаревшее электротехническое оборудование.

Электрические нагрузки подключаемых потребителей рассчитывались в соответствии с требованиями СТП 33240.20.178-20 «Электрические сети 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения». При расчете нагрузок учитывались также результаты опроса граждан о фактически установленном электрооборудовании и об имеющихся подключенных, планируемых к подключению к электросетям или строящихся хозяйственных построек. Система наружного освещения населенного пункта проектировалась с учетом использования энергосберегающих светодиодных светильников мощностью 80 Вт.

При строительстве распределительной электрической сети 0,4 кВ была использована глухозаземленная нейтраль трансформаторов, а на ВЛ организовано грозозащитное и повторное заземление нулевого провода. В соответствии с ПУЭ объекты (электропотребители), подключенные к сетям, отнесены к III категории по надежности электроснабжения.

Согласно проектным решениям общий учет потребления электроэнергии в жилых домах осуществляют сплит-счетчики, смонтированные на опорах ВЛ, а учет электроэнергии, используемой оборудованием для нагрева, – дополнительные счетчики в распределительных щитах (ЩР).

Для обеспечения безопасной эксплуатации электроустановок проектом предусмотрены система заземления TN-C-S и система защитного заземления оборудования согласно ГОСТ 30331.3-95 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током».

В рамках перевода жилых домов на электронагрев выполнены следующие работы:

- замена существующих однофазных вводов на трехфазные;
- монтаж ЩР на фасадах жилых домов;
- монтаж и подключение к ЩР электрических конвекторов, плит и водонагревателей;
- другие работы.

В домах установлено сертифицированное электрооборудование (конвекторы, плиты и водонагреватели),

выпускаемое предприятиями Республики Беларусь и имеющее степень защиты, соответствующую классам зон согласно ПУЭ, условиям эксплуатации и окружающей среды.

Система отопления разработана для расчетной зимней температуры наружного воздуха  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  (средний показатель наиболее холодной пятидневки). Квартиры отапливаются электроконвекторами с нагревательными элементами. Регулирование заданной температуры в помещении, включение и выключение оборудования выполняется с помощью термовыключателя и электронного терморегулятора, которыми укомплектованы конвекторы. В ванных комнатах установлены электрические полотенцесушители во влагозащищенном исполнении.

Для обеспечения горячего водоснабжения отдельных жилых домов, не подключенных к системе централизованного водоснабжения, было принято решение о монтаже водоналивных электроводонагревателей. В домах, оборудованных системой холодного водоснабжения, установлены накопительные водонагреватели объемом 100 л и мощностью 2 кВт.

Стоит отметить, что для подключения сетей электроснабжения жилых домов к распределительным шкафам был произведен демонтаж существующих ЩР и на их место установлены пластиковые боксы, оборудованные на вводе автоматическим выключателем дифференциального тока АД 2P-25A/30 мА, что соответствует требованиям п. 16.3.3 СН 4.04.01-2019 «Системы электрооборудования жилых и общественных зданий».

Определенную сложность представляло обеспечение совместимости действующей электросети домовладений с вновь смонтированной сетью для отопления и горячего водоснабжения, к которой предъявляются новые требования строительных норм. В процессе реализации проекта эта проблема была успешно решена.

### Обеспечение электробезопасности

Для обеспечения безопасного пользования электроэнергией филиал Госэнергонадзора по Гомельской области акцентировал внимание заказчика и подрядчика на необходимости соблюдения следующих требований:



Присоединение PEN-проводника питающей линии к РЕ-шине нулевого защитного проводника



Уплотняющие устройства в местах прохода кабельных линий



- выполнение в многоквартирных жилых домах мероприятий по организации дополнительной системы уравнивания потенциалов в ванных комнатах;

- установка устройства защитного отключения (УЗО) для защиты электропроводки в жилищном фонде с двухпроводными групповыми сетями, не имеющими защитного РЕ-проводника, в соответствии с п. 16.3.3 СН 4.04.01-2019;

- демонтаж существующих газопроводов жилых домов с индивидуальными баллонными установками для исключения недопустимого сближения газопроводов и штепсельных розеток и/или электропроводки (согласно п. 11.20 СН 4.04.01-2019 расстояние до розеток должно быть не менее 0,5 м, до электропроводки – не менее 0,4 м, что соответствует также требованиям п. 2.1.57 ПУЭ).

Все перечисленные условия были соблюдены, и после завершения электромонтажных работ филиалом Госэнергонадзора по Гомельской области была осуществлена административная процедура «Получение заключения о соответствии принимаемого в эксплуатацию объекта строи-

тельства разрешительной и проектной документации (в части энергетической безопасности)», предусмотренная п. 3.9.7 единого перечня административных процедур, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.09.2021 № 548.

### Заключение

В отопительный период 2023/2024 года эксплуатация смонтированного электрооборудования в домовладениях и квартирах жителей агрогородка Великий Бор показала положительные результаты.

Мероприятия, направленные на использование электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения жилищного фонда вместо сжиженного газа и твердого топлива, позволили улучшить качество жизни населения в регионе, пострадавшем от аварии на ЧАЭС, создали более безопасные и экологичные условия проживания, снизили энергопотребление и повысили энергоэффективность.

УДК 621.31.25:546.79:552.524(476)

Т.Г. ЛЕОНТЬЕВА,  
старший научный  
сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны»  
НАН Беларуси, Минск,  
Беларусь,  
leontieva@sosny.bas-net.by



Л.Н. МОСКАЛЬЧУК,  
д.т.н., доцент, профессор  
кафедры безопасности  
жизнедеятельности БГТУ,  
главный научный сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны»  
НАН Беларуси, Беларусь,  
Минск, leonmosk@tut.by



А.А. БАКЛАЙ,  
старший научный  
сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ –  
Сосны» НАН Беларуси,  
Беларусь, Минск,  
a.baklay@tut.by



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, ИМИТИРУЮЩИХ ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ АЭС

## Аннотация

В работе представлены результаты исследований сорбции  $^{137}\text{Cs}$  образцами алюмосиликатных сорбентов из модельных растворов, имитирующих жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) АЭС. Установлено, что для данных образцов в малосолевых модельных растворах ЖРО с концентрацией солей  $0,1 \text{ моль/дм}^3$  значения коэффициента распределения  $^{137}\text{Cs}$  составляют более  $10^3 \text{ дм}^3/\text{кг}$ . Наибольшее влияние на сорбцию  $^{137}\text{Cs}$  сорбентами оказывает катион  $\text{K}^+$ , который является химическим аналогом  $\text{Cs}^+$  и создает конкуренцию за места сорбции. Полученные значения коэффициента распределения  $^{137}\text{Cs}$  для образцов алюмосиликатных сорбентов в водном растворе в 5–20 раз выше по сравнению со значениями данного показателя для образцов бентонитовых глин России, Азербайджана и Казахстана. Проведенные исследования показали, что алюмосиликатные сорбенты могут использоваться для очистки малосолевых низко- и среднеактивных ЖРО от радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ .

**Ключевые слова:** алюмосиликатные сорбенты, сорбция, цезий, иллит, коэффициент распределения, жидкие радиоактивные отходы

## Annotation

The paper presents the results of studies of  $^{137}\text{Cs}$  sorption by samples of aluminosilicate sorbents from model solutions simulating liquid radioactive waste (LRW) of nuclear power plants. It was determined that for samples of aluminosilicate sorbents in low salt model solutions of LRW with a salt concentration of  $0,1 \text{ mol/dm}^3$ , the values of  $^{137}\text{Cs}$  distribution coefficient are higher than  $10^3 \text{ dm}^3/\text{kg}$ . The most significant change in the sorption of  $^{137}\text{Cs}$  is caused by the presence of  $\text{K}^+$  cation, which is a chemical analogue of  $\text{Cs}^+$  and creates competition for sorption sites. The obtained values of  $^{137}\text{Cs}$  distribution coefficient for the aluminosilicate sorbents samples in aqueous  $^{137}\text{Cs}$  solutions are 5–20 times higher compared to the values for samples of bentonite clays from Russia, Azerbaijan and Kazakhstan. The conducted studies have shown that aluminosilicate sorbents can be used to purify low salt low- and intermediate-level LRW from  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide.

**Keywords:** aluminosilicate sorbents, sorption, cesium, illite, distribution coefficient, liquid radioactive waste

**Статья поступила в редакцию  
29 января 2024 года**

## Введение

В настоящее время в Беларуси введена в эксплуатацию Белорусская АЭС (БелАЭС) с реактором типа ВВЭР-1200, состоящая из двух энергоблоков. При промышленной эксплуатации ядерных реакторов станции образуются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) различного химического состава. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема их переработки и перевода в твердую форму для последующего безопасного хранения и захоронения.

Согласно Правилам безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных электростанций [1] ЖРО в зависимости от физико-химических свойств подразделяются на малосолевые и высокосолевые водные растворы с концентрацией солей менее  $10 \text{ г/дм}^3$  и более  $10 \text{ г/дм}^3$  соответственно. Основными ЖРО АЭС являются кубовые остатки с высоким содержанием солей ( $400 \text{ г/дм}^3$  и более). Однако на АЭС образуются и низкоактивные малосолевые ЖРО, к которым можно отнести воды дезактивации, низкоактивные регенерационные растворы, воды спецпрачечной, душевые воды санпропускников и др. [2, 3].

В настоящее время для очистки ЖРО от радионуклидов применяется сорбционный метод с использованием ионообменных смол (ИОС) и неорганических сорбентов [2, 4–6]. Неорганические сорбенты по сравнению с ИОС обладают повышенной химической, термической и радиационной стойкостью, а также высокой селективностью к определенному иону или группе ионов. Для очистки ЖРО от радионуклидов цезия и стронция наиболее часто используют следующие типы неорганических сорбентов: природные и синтетические алюмосиликаты; оксигидраты титана, циркония, марганца; фосфаты титана и циркония; титаносиликаты щелочных металлов; ферроцианиды переходных металлов [2–4].

Преимуществами сорбционного метода являются отсутствие сложного оборудования при его реализации, высокие коэффициенты сокращения объема радиоактивных отходов и концентрирования радионуклидов в материале сорбента, легко поддающегося отверждению. Основным недостатком данного метода является высокая стоимость сорбционных материалов (ИОС, ферроцианидных сорбентов и др.) [7]. Поэтому поиск дешевых материалов с высокой сорбционной способностью в отношении ряда радионуклидов является актуальной задачей. С использованием сорбентов возможно проведение очистки ЖРО практически от любых радионуклидов, однако не существует универсального сорбента, который позволяет обеспечивать приемлемую степень очистки ЖРО от всех радионуклидов одновременно.

Исследованиями [8–10] установлено, что алюмосиликатные сорбенты на основе глинисто-солевых шламов, являющихся промышленным отходом переработки силвинитовой руды на ОАО «Беларуськалий», обладают высокими сорбционными свойствами в отношении радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>85</sup>Sr, содержащихся в водных растворах. Для оценки эффективности их использования с целью очистки ЖРО большое значение имеет изучение их сорбционной способности на модельных растворах, имитирующих ЖРО различного состава.

Состав ЖРО АЭС в основном определяется продуктами коррозии оборудования и труб, а также реагентами для стабилизации воды в контурах и дезактивирующими растворами. В состав этой воды входят ионы железа, алюминия, нитраты, бораты, соли щелочных и щелочноземельных металлов, а также органические соединения.

Значимым для изучения сорбционных свойств алюмосиликатных сорбентов является их сравнение с другим природным сорбентом – бентонитовой глиной. Данный материал широко применяется в атомной энергетике, в том числе в составе цементных компаундов при отверждении ЖРО. Основным глинистым минералом в составе бентонитовой глины является монтмориллонит, который обладает высокими сорбционными свойствами в отношении ряда радионуклидов.

Целью данной работы является оценка возможности использования алюмосиликатных сорбентов для очистки модельных растворов ЖРО от радионуклида <sup>137</sup>Cs и сравнение сорбционных свойств исследуемых сорбентов и образцов бентонитовой глины.

## Материалы и методы исследования

Для проведения исследований использовались представленные в таблице 1 образцы алюмосиликатных сорбентов, полученные путем водной и кислотнo-водной обработки глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий» [8–10].

Таблица 1. Образцы алюмосиликатных сорбентов

Шифр образца	Наименование сорбента	Способ получения
АС	Алюмосиликатный сорбент	Водная обработка
АС-м	Алюмосиликатный сорбент модифицированный	Кислотно-водная обработка

Оценку эффективности сорбции <sup>137</sup>Cs данными образцами проверяли на модельных растворах, приготовленных с использованием дистиллированной воды и различных солей. Характеристики растворов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав модельных растворов, имитирующих ЖРО

№ раствора	Состав	Концентрация каждого компонента, моль/дм <sup>3</sup>	pH
1	NaNO <sub>3</sub>	0,1	6,1 ± 0,1
2	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,1	3,4 ± 0,2
3	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub>	0,1	3,4 ± 0,1
4	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , трилон Б	0,1 (трилон Б – 0,01)	1,9 ± 0,2
5	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub> , трилон Б	0,1 (трилон Б – 0,01)	1,9 ± 0,2
1а	NaNO <sub>3</sub>	1	6,2 ± 0,1
2а	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1	2,6 ± 0,1
3а	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub>	1	2,6 ± 0,2
4а	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , трилон Б	1 (трилон Б – 0,1)	1,2 ± 0,3
5а	NaNO <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub> , трилон Б	1 (трилон Б – 0,1)	1,2 ± 0,3

Выбор состава модельных растворов обусловлен тем, что в большинстве ЖРО низкого и среднего уровня активности основной солевой составляющей являются соли натрия. Сравнение значений коэффициента распределения <sup>137</sup>Cs в растворах NaNO<sub>3</sub> с концентрацией 0,1 и 1,0 моль/дм<sup>3</sup> дает четкое представление о селективности сорбентов по отношению к цезию в низко- и высокосолевых ЖРО соответственно [4].

Для сравнения использовались данные, полученные при сорбции <sup>137</sup>Cs из водного раствора на основе дистиллированной воды.

Отличительной особенностью ЖРО, образующихся на АЭС с реактором ВВЭР-1200, является наличие в их составе солей борной кислоты. В связи с этим выполнены исследования по изучению сорбции <sup>137</sup>Cs алюмосиликатными сорбентами из боросодержащих растворов ЖРО с концентрацией борной кислоты Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> 0,1 и 1 моль/дм<sup>3</sup> и pH 5,2 и 3,2 соответственно. Приготовлены также два модельных раствора ЖРО (pH = 12,0) следующего состава, г/дм<sup>3</sup>:

№ 1 – NaNO<sub>3</sub> – 60, NaOH – 80, Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> – 98;

№ 2 – то же и KNO<sub>3</sub> – 40.

Таблица 3. Образцы глин, использованные для сравнительной оценки

Шифр образца	Тип	Месторождение	Страна
БГ-О	Природная бентонитоподобная глина	Острожанское	Беларусь
БГ-10	Природная бентонитовая глина	10-й Хутор	Россия
БГ-ДС		Даш-Салахлинское	Азербайджан
БГ-Т		Таганское	Казахстан
Г-К	Природная глина	Кустиха	Беларусь

Таблица 4. Характеристика свойств и минеральный состав алюмосиликатных сорбентов

Шифр образца сорбента	Содержание основных минералов, %				Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	рН
	иллит	кальцит, доломит	калиевый полевой шпат	кварц		
АС	48,2	18,4	21,8	4,9	29,0	7,9
АС-м	65,2	–	27,8	6,2	39,0	6,7

Для сравнительной оценки сорбции <sup>137</sup>Cs АС и глиной, в том числе бентонитовой, использовались образцы, представленные в таблице 3.

Проведены исследования сорбции <sup>137</sup>Cs из дистиллированной воды и растворов с концентрацией NaNO<sub>3</sub> 0,1 и 1 моль/дм<sup>3</sup>.

Исследование сорбции <sup>137</sup>Cs образцами АС, АС-м (фракция <0,25 мм) и глинами проводили в условиях ограниченного объема при температуре 20 ± 2 °С. Навеску образца массой 0,1 г помещали в центрифужную пробирку, добавляли 10 см<sup>3</sup> модельного раствора с радиоактивной меткой <sup>137</sup>Cs и периодически перемешивали. Отношение твердой и жидкой фаз составляло 10 г/дм<sup>3</sup>, удельная активность модельных растворов <sup>137</sup>Cs – 1,7·10<sup>6</sup> Бк/дм<sup>3</sup> (3,9·10<sup>-9</sup> моль/дм<sup>3</sup>), время взаимодействия образца с раствором – 24 ч, что достаточно для установления сорбционного равновесия в системе «образец – раствор» [8].

Жидкую и твердую фазы разделяли центрифугированием при 10 000 об/мин в течение 15 мин. В полученном фильтрате определяли удельную активность <sup>137</sup>Cs прямым спектрометрическим методом по линии E<sub>γ</sub> = 662 кэВ с использованием универсального спектрометрического комплекса РУС-91М. По результатам измерений рассчитывали значения коэффициента распределения <sup>137</sup>Cs, дм<sup>3</sup>/кг, по формуле

$$K_d = \frac{A_0 - A_p}{A_p} \cdot \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где A<sub>0</sub> и A<sub>p</sub> – исходная и равновесная активности <sup>137</sup>Cs в растворе соответственно, Бк/л; V – объем раствора, дм<sup>3</sup>; m – масса образца, кг.

Коэффициент распределения K<sub>d</sub> применительно к радионуклидам используется для описания сорбционных свойств различных материалов [11]. В данной работе он применялся в качестве критерия для определения влияния солей на сорбцию <sup>137</sup>Cs.

Результаты и обсуждение

Для полученных алюмосиликатных сорбентов установлены физико-химические свойства, минеральный, химический и гранулометрический состав, а также морфологическая структура [8, 10]. Некоторые характеристики сорбентов приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, основным глинистым минералом в составе сорбентов АС и АС-м является иллит. В результате кислотно-водной обработки карбонатные минералы (кальцит и доломит) разрушаются, что приводит к повышению содержания иллита в образце АС-м.

Исследование сорбции <sup>137</sup>Cs из водного раствора (дист. вода) данными сорбентами показало высокие (до 99 %) значения степени сорбции у обоих образцов. Значения K<sub>d</sub> <sup>137</sup>Cs для АС и АС-м составляют 8,4·10<sup>3</sup> и 1,0·10<sup>4</sup> дм<sup>3</sup>/кг соответственно.

Сравнение сорбции <sup>137</sup>Cs из малосолевых модельных растворов ЖРО данными сорбентами (рис. 1, а) показывает, что присутствие в растворе NaNO<sub>3</sub> и Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> в концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, а также трилона Б (0,01 моль/дм<sup>3</sup>) снижает сорбцию <sup>137</sup>Cs. Так, для растворов № 1, 2 и 4 значения K<sub>d</sub> <sup>137</sup>Cs снижаются в 6,3–8,2 раза для образца АС и в 5,9–7,4 раза – для образца АС-м по сравнению с водными растворами (дист. вода), однако остаются достаточно высокими – более 10<sup>3</sup> дм<sup>3</sup>/кг. При появлении в растворах № 3 и 5 катионов K<sup>+</sup> (0,1 моль/дм<sup>3</sup>, или 10,1 г/дм<sup>3</sup>) K<sub>d</sub> <sup>137</sup>Cs значительно снижается из-за конкуренции ионов калия и цезия за места сорбции. При этом для образца АС-м K<sub>d</sub> <sup>137</sup>Cs составляет порядка 100 дм<sup>3</sup>/кг (таблица 2).

Аналогичная ситуация наблюдается при увеличении в модельных растворах ЖРО концентрации солей до 1 моль/дм<sup>3</sup>

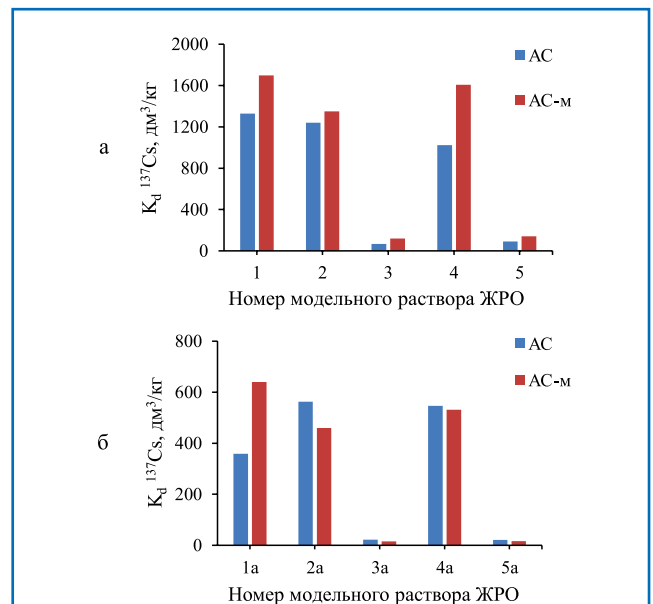


Рис. 1. Зависимость K<sub>d</sub> <sup>137</sup>Cs от состава модельных растворов ЖРО:

а – концентрация нитратов Na, Al, K – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, трилона Б – 0,01 моль/дм<sup>3</sup>; б – концентрация нитратов Na, Al, K – 1 моль/дм<sup>3</sup>, трилона Б – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>

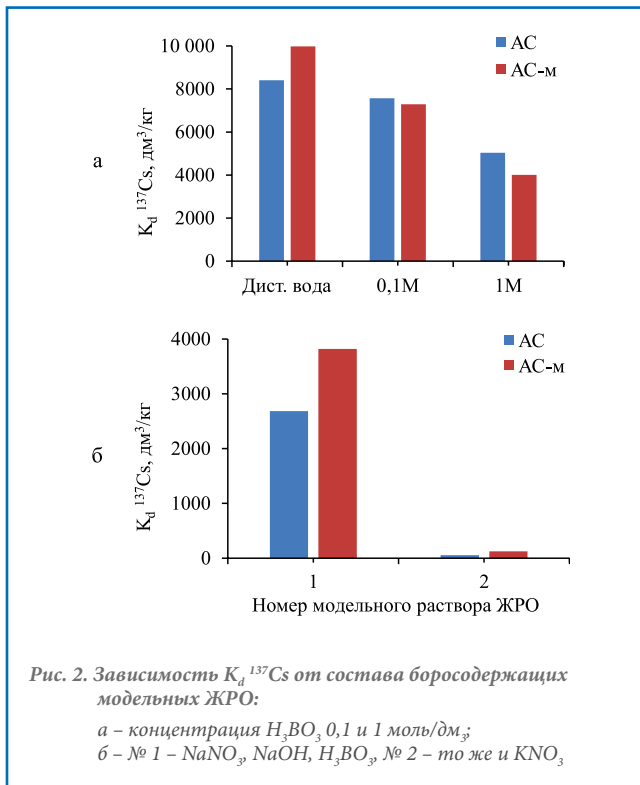


Таблица 5. Сорбционные свойства алюмосиликатных сорбентов и природных материалов в отношении  $^{137}\text{Cs}$

Шифр образца	$K_d$ $^{137}\text{Cs}$ , дм <sup>3</sup> /кг		
	Дист. вода	0,1 моль/дм <sup>3</sup> $\text{NaNO}_3$	1 моль/дм <sup>3</sup> $\text{NaNO}_3$
АС	$8,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	360
АС-м	$1,0 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$	640
БГ-О	$4,8 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	578
БГ-10	$1,2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^2$	67
БГ-Д	$4,4 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^2$	77
БГ-Т	$5,4 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^2$	58
Г-К	$1,2 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^2$	201

(рис. 1, б). При этом значения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  для образцов сорбентов снижаются на порядок по сравнению со значениями для растворов с концентрацией солей 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Присутствие катионов  $\text{K}^+$  существенно ухудшает сорбцию  $^{137}\text{Cs}$ .

Повышение солесодержания в растворе снижает  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$ , поскольку его сорбция протекает по механизму ионного обмена. Из рисунка 1, а видно, что образец АС-м лучше сорбирует  $^{137}\text{Cs}$  из всех модельных растворов ЖРО, чем образец АС, что связано с повышенным содержанием иллита в составе сорбента АС-м.

Таким образом, значения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  для модельных растворов ЖРО составляют: более  $10^3$  дм<sup>3</sup>/кг – для малосолевых растворов № 1, 2 и 4 с концентрацией  $\text{NaNO}_3$  0,1 моль/дм<sup>3</sup>; более  $10^2$  дм<sup>3</sup>/кг – для высокосолевых растворов № 1а, 2а и 4а с концентрацией  $\text{NaNO}_3$  1 моль/дм<sup>3</sup>. Наибольшее влияние на сорбцию  $^{137}\text{Cs}$  оказывает присутствие  $\text{K}^+$ .

Изучена также сорбция  $^{137}\text{Cs}$  образцами сорбентов АС и АС-м из боросодержащих модельных растворов ЖРО различной концентрации. Результаты исследования представлены на рисунке 2.

Как установлено ранее,  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  для сорбентов АС и АС-м в водном растворе (дист. вода) равен  $8,4 \cdot 10^3$  и  $1,0 \cdot 10^4$  дм<sup>3</sup>/кг

соответственно. При концентрации  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0,1 моль/дм<sup>3</sup> происходит незначительное снижение  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  для образцов сорбентов по сравнению с водным раствором. Дальнейшее увеличение концентрации  $\text{H}_3\text{BO}_3$  до 1 моль/дм<sup>3</sup> приводит к снижению  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  в 1,7 раза для образца АС и в 2,5 раза – для АС-м по сравнению с сорбцией из дистиллированной воды. При этом полученные значения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  превышают  $10^3$  дм<sup>3</sup>/кг.

Исследование сорбции  $^{137}\text{Cs}$  из боросодержащего модельного раствора ЖРО № 1 с концентрацией  $\text{H}_3\text{BO}_3$  98 г/дм<sup>3</sup> показало, что  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  составляет более  $10^3$  дм<sup>3</sup>/кг и значительно снижается в присутствии  $\text{KNO}_3$  (40 г/дм<sup>3</sup>).

Проведена сравнительная оценка сорбции  $^{137}\text{Cs}$  алюмосиликатными сорбентами и глинами, в том числе бентонитовыми, в идентичных условиях и определены значения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$ . Результаты исследований представлены в таблице 5.

Анализ данных по сорбции  $^{137}\text{Cs}$  из дистиллированной воды показал, что наиболее высокие сорбционные свойства наблюдаются у образцов АС и АС-м. В порядке уменьшения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  исследованные глинистые материалы можно расположить в ряд:

АС-м > АС > БГ-О > БГ-10 ≈ Г-К > БГ-Т > БГ-ДС.

Присутствие в водном растворе  $\text{NaNO}_3$  (0,1 моль/дм<sup>3</sup>) приводит к снижению сорбции  $^{137}\text{Cs}$ . В порядке уменьшения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  исследованные глинистые материалы можно расположить в ряд:

БГ-О > АС-м > АС > Г-К > БГ-Т > БГ-10 > БГ-Д.

Значения  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  для образца АС-м выше, чем для образца АС, что, по-видимому, связано с увеличением содержания глинистого минерала иллита в составе АС-м после удаления карбонатных минералов.

Повышение концентрации  $\text{NaNO}_3$  в растворе до 1 моль/дм<sup>3</sup> приводит к значительному снижению сорбции  $^{137}\text{Cs}$ . В данных условиях его лучше сорбируют образцы алюмосиликатных сорбентов ( $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  >  $10^2$  дм<sup>3</sup>/кг) и бентонитоподобной глины Острожанского месторождения (Беларусь). Результаты сорбции  $^{137}\text{Cs}$  образцами природных бентонитовых глин из различных месторождений согласуются с данными работы [12].

## Выводы

1. При увеличении концентрации солей в составе модельных растворов ЖРО наблюдается снижение сорбции  $^{137}\text{Cs}$  образцами алюмосиликатных сорбентов (АС, АС-м). Присутствие в растворах нитратов  $\text{Na}$  и  $\text{Al}$ , борной кислоты с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, трилона Б с концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup> (малосолевые растворы) не оказывает значимого влияния на сорбцию  $^{137}\text{Cs}$  (коэффициент распределения  $K_d$  >  $10^3$  дм<sup>3</sup>/кг). Повышение концентрации солей до 1 моль/дм<sup>3</sup> приводит к снижению значений  $K_d$   $^{137}\text{Cs}$  на порядок.

2. Установлено, что присутствие в составе модельного раствора ЖРО  $\text{H}_3\text{BO}_3$  влияет на сорбцию  $^{137}\text{Cs}$  образцами АС, АС-м при ее концентрации более 1 моль/дм<sup>3</sup>.

3. Наибольшее влияние на сорбцию  $^{137}\text{Cs}$  оказывает присутствие в модельном растворе ЖРО катиона  $\text{K}^+$ , являющегося химическим аналогом  $^{137}\text{Cs}$  и создающего конкуренцию за места селективной сорбции. При этом зна-

чения коэффициента распределения <sup>137</sup>Cs для образцов АС, АС-м снижаются до 10<sup>2</sup> дм<sup>3</sup>/кг и менее при концентрации KNO<sub>3</sub> 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

4. Экспериментально полученные значения коэффициента распределения <sup>137</sup>Cs в водном растворе для АС, АС-м в 5–20 раз выше значений данного показателя для бентонитовых глин России, Азербайджана и Казахстана. В ма-

лосоловом модельном растворе (концентрация NaNO<sub>3</sub> 0,1 моль/дм<sup>3</sup>) для образцов АС, АС-м коэффициент распределения <sup>137</sup>Cs составил более 10<sup>3</sup> дм<sup>3</sup>/кг.

Таким образом, проведенные исследования показали, что алюмосиликатные сорбенты на основе глинисто-солевых шламов могут использоваться для очистки малосоловых низко- и среднеактивных ЖРО от радионуклида <sup>137</sup>Cs.

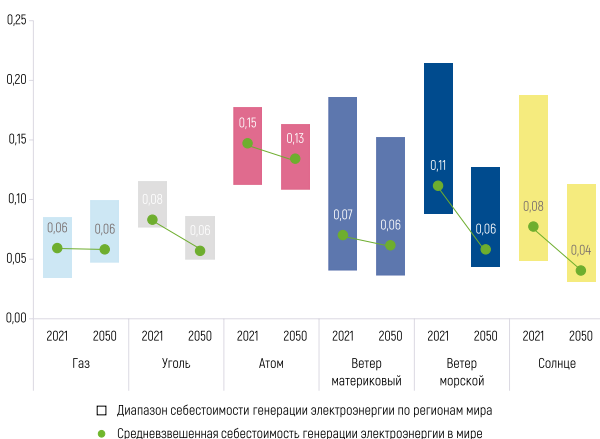
Список литературы

- Об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности. Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных электростанций: постановление Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 12 окт. 2017, № 43 // Департамент по ядерной и радиационной безопасности Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
- Рябчиков, Б.Е. Очистка жидких радиоактивных отходов / Б.Е. Рябчиков. – М.: Делфи принт, 2008. – 516 с.
- Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / А.А. Ключников [и др.]. – Киев: ИПБ АЭС НАН Украины. – 2005. – 487 с.
- Милютин, В.В. Современные сорбционные материалы для очистки жидких радиоактивных отходов от радионуклидов цезия и стронция / В.В. Милютин, Н.А. Некрасова, В.О. Каптакое // Радиоактивные отходы. – 2020. – № 4(13). – С. 80–89.
- Мясоедова, Г.В. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред / Г.В. Мясоедова, В.А. Никашина // Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50, № 5. – С. 55–63.
- Xiaoyuan, Z. Nanomaterials for radioactive wastewater decontamination / Z. Xiaoyuan, L. Yu // Environ. Sci.: Nano. – 2020. – Vol. 7. – P. 1008–1040.
- Кузнецов, Ю.В. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений / Ю.В. Кузнецов, В.Н. Щebetковский, А.Г. Трусов. – М.: Атомиздат, 1974. – 366 с.
- Извлечение радионуклидов цезия из водных сред алюмосиликатным сорбентом, полученным из промышленных отходов ОАО «Беларуськалий» / Л.Н. Москальчук [и др.] // Радиохимия. – 2019. – Т. 61, № 4. – С. 334–338.
- Clay-salt slimes from the JSC “Belaruskali” as potential engineering barriers in the radioactive waste repositories: sorption of Cs(I), Sr(II), Eu(III) and Am(III) / L. Fuks [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2018. – Vol. 15, iss. 10. – P. 2047–2058. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1597-3>
- Алюмосиликатные сорбенты на основе глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий» для сорбции радионуклидов цезия и стронция / Л.Н. Москальчук [и др.] // Радиохимия. – 2020. – Т. 62, № 3. – С. 228–233.
- Экспериментальные особенности определения коэффициента распределения радионуклидов на барьерных глинистых материалах / А.А. Семенкова [и др.] // Радиоактивные отходы. – 2020. – № 2 (23). – С. 90–97.
- Сорбция Cs из водной среды на природных бентонитах различных месторождений / А.В. Прядко [и др.] // Успехи в химии и хим. технол. – 2017. – Т. 31, № 10. – С. 19–21.

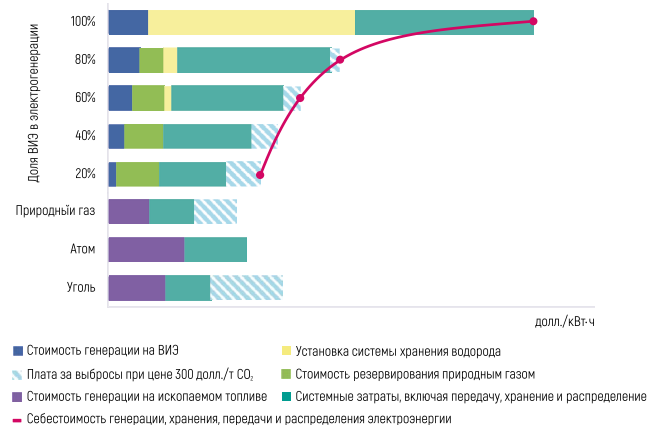
К сведению

ВИЭ входят в зону конкурентоспособности с тепловой генерацией

Прогноз изменения себестоимости производства электроэнергии по источникам в 2050 г. в сравнении с 2021 г., долл. 2023/кВт·ч



Схематическое изменение полных затрат на поставки электроэнергии до уплаты налогов с учетом стоимости генерации, системных эффектов, платы за выбросы CO<sub>2</sub> экв., долл./кВт·ч



Переход от генерации на газе и угле к 100%-ному использованию ВИЭ приведет к росту себестоимости поставок электроэнергии в 3–7 раз с учетом всех системных эффектов и повышению рисков устойчивости работы системы. Но могут быть приемлемые компромиссы, сочетающие разные виды генерации.

Источник: «Прогноз развития энергетики мира и России 2024», Институт энергетических исследований РАН

УДК 621.313.333

А.В. ДРОБОВ,  
м.т.н., начальник учебно-методического центра профессионального образования ГУО «Гомельский областной институт развития образования», Гомель, Беларусь, electr\_to@mail.ru



В.Н. ГАЛУШКО,  
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехника» БелГУТ, Гомель, Беларусь, 5355628@mail.ru



И.Л. ГРОМЫКО,  
м.т.н., ассистент кафедры «Электротехника» БелГУТ, Гомель, ivangromyko95@mail.ru



# МОДЕЛЬ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ

## Аннотация

В статье описана технология определения межвитковых замыканий с помощью результатов численного моделирования дифференциальных уравнений, основанная на экспериментальном определении параметров схемы замещения однофазных трансформаторов при межвитковых замыканиях. Разработанный математический инструментарий на основе данной схемы позволит модельным способом получать выборки для обучения сверточных нейронных сетей, унифицировать процедуру исследования для трансформаторов различных мощностей и легко адаптировать ее под различное конструктивное исполнение.

**Ключевые слова:** инструментальный контроль, техническая диагностика, электрооборудование, надежность, автоматизированные диагностические системы, сверточные нейронные сети, силовые трансформаторы, схема замещения трансформатора

## Annotation

The article describes the technology for determining interturn short circuits using the results of numerical modeling of differential equations, based on the experimental determination of the parameters of the equivalent circuit of single-phase transformers for interturn short circuits. The developed mathematical tools based on this scheme will allow us to obtain samples for training convolutional neural networks using a model method, unify research for transformers of various powers and easily adapt them to different designs.

**Keywords:** instrumental control, technical diagnostics, electrical equipment, reliability, automated diagnostic systems, convolutional neural networks, power transformers, transformer equivalent circuit

*Статья поступила в редакцию  
5 апреля 2024 года*

## Актуальность

Экономическая ситуация, сложившаяся в электроэнергетике в последние годы, заставляет принимать меры, направленные на увеличение срока службы различного оборудования. Одной из первоочередных задач является внедрение эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики состояния электрооборудования, что должно повысить надежность электрических сетей и энергоэффективность отрасли в целом.

Неотъемлемым элементом централизованного электроснабжения является силовой трансформатор. Выход его из строя может привести к аварийной ситуации, отключению электроэнергии, массовому недопроизводству, сопровождающимся значительным экономическим и экологическим ущербом. Поэтому мониторинг состояния трансформаторов является важной задачей.

Сегодня диагностика неисправностей трансформатора – это длительное и дорогостоящее мероприятие. Часто приходится проводить ряд сложных дополнительных тестов, так как применяемые методы диагностики не всегда позволяют однозначно установить место и тип дефекта.

Надежность трансформатора во многом определяется надежностью обмоток, которая, в свою очередь, зависит от состояния изоляции. Изоляция работает в сложных, часто очень неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации, хранения и транспортировки трансформаторы подвергаются различным внешним воздействиям, что со временем приводит к ухудшению свойств изоляции.

Старение изоляции, перенапряжения, а также плохая организация производства и эксплуатации являются основными причинами межвитковых замыканий (МКЗ) в трансформаторах.

Следует отметить, что в последние годы разработан ряд методов диагностики трансформаторного оборудо-

вания, которые при комплексном использовании позволяют адекватно оценить состояние обследуемого объекта с достоверностью до 98 % [1]. Несмотря на это, количество трансформаторов, «доживающих» до отказа из-за термохимического старения твердой изоляции, составляет, по разным источникам, от 7 % до 20 % [2]. То есть остальные 80–93 % отказов трансформаторов вызваны различными дефектами, которые не были вовремя обнаружены.

Такая ситуация обусловлена низкой эффективностью традиционной схемы диагностики. Эта схема, базирующаяся на плановых комплексных осмотрах, была разработана для условий экономики СССР, принципы которой исключали возможность эксплуатации большого количества оборудования сверх проектного срока. Соответственно, периодичность проведения комплексных проверок выбиралась исходя из вероятности возникновения и скорости развития дефектов в трансформаторах со сроком эксплуатации до 25 лет и не учитывала особенности протекания этих процессов в старом оборудовании.

Как следствие, в современных условиях все чаще встречаются случаи, когда за время межповерочного интервала дефект успевает развиться и привести к аварийному выходу трансформатора из строя. В то же время простое сокращение интервала приводит к недопустимому увеличению стоимости диагностики, что говорит о необходимости перехода к новой, эффективной схеме диагностирования неисправностей трансформаторов, предполагающей осуществление техобслуживания оборудования по фактическому состоянию. С этой целью ведется активная разработка и внедрение автоматизированных комплексных диагностических систем, позволяющих оценить текущее техническое состояние оборудования в различных режимах, без его отключения [3, 4]. Такие системы помогают выявлять дефекты на ранних стадиях развития, формировать технические рекомендации по продлению срока службы, планировать циклы сервисного обслуживания и ремонта.

При этом следует помнить, что нецелесообразно полностью отказываться от планового технического диагностирования. Оно позволяет решить следующие задачи: повысить надежность и увеличить срок службы эксплуатируемых трансформаторов; сократить время ремонтов и снизить стоимость ремонтных работ; оптимизировать количество запасных частей на предприятиях; исключить повторные дефекты.

## Основная часть

Ряд авторов [5] доказывает экономическую целесообразность профилактических испытаний и непрерывного мониторинга силового электрооборудования. Однако такой подход требует решения ряда проблем.

Современные автоматизированные системы диагностики трансформаторов и электрических машин чаще всего разрабатываются для конкретного типа оборудования, а их адаптация к оборудованию другой мощности или другого конструктивного исполнения требует трудоемкой настройки библиотек баз данных и значительной технической дора-

ботки. Избежать этого можно за счет использования самообучающихся интеллектуальных систем, позволяющего:

- унифицировать диагностические исследования без необходимости создания библиотек баз данных для каждого типа трансформаторов;
- оптимизировать процесс диагностики благодаря простоте практического применения и исключению человеческого фактора при анализе результатов;
- улучшить качество диагностики. С увеличением количества исследований вероятность ошибки снижается, а системный подход (оценка множества факторов в динамике) повышает точность прогноза.

В связи с этим разработана и исследована основанная на системном универсальном подходе высокоэффективных комплексов для диагностического контроля состояния трансформаторов и их непосредственное применение в технологическом процессе обслуживания представляет собой действительно актуальную научно-техническую проблему для современной системы электроснабжения потребителей, одним из которых является железнодорожный транспорт.

Авторами разработана универсальная диагностическая система определения и классификации неисправностей трансформаторов и оценки остаточного ресурса изоляции обмоток на основе сверточных нейронных сетей (СНС) для трансформаторов нетягового электроснабжения устройств сигнализации, централизации и блокировки межсистемных линий предприятий железнодорожных электросетей [6].

Традиционные методы испытаний включают в себя измерение различных параметров, таких как:

- полное сопротивление короткого замыкания (КЗ);
- потери холостого хода (ХХ);
- коэффициент трансформации;
- ток намагничивания;
- сопротивление обмоток.

Современные диагностические системы, применяемые на ряде энергообъектов Беларуси, позволяют измерять все вышеперечисленные параметры, а также динамическое сопротивление посредством одного прибора [7]. Однако при всех безусловных достоинствах эти системы имеют ряд существенных недостатков:

- предназначены для решения конкретных задач (для определенных схем, типов оборудования и т.д.);
- используют разнородную и разнотипную информацию;
- не учитывают изменения критериев диагностики оборудования.

Иными словами, эти диагностические системы необучаемы. Применение самообучающихся систем на основе искусственных нейронных сетей устраняет перечисленные недостатки.

Базируясь на данных исследований, авторы описывают методику определения МКЗ, основанную на измерении параметров схемы замещения однофазных трансформаторов. Полученные результаты измерений токов ХХ с применением СНС позволили унифицировать процедуру диагностического исследования для трансформаторов различных мощностей и легко адаптировать ее под разное конструктивное исполнение.

К основным уравнениям трансформатора, работающего под нагрузкой, относятся уравнения напряжений его первичной и вторичной обмоток

$$U_1 = (-E_1) + I_1 Z_1, \quad U_{12} = E_2 - I_2 Z_2,$$

а также уравнение токов

$$I_1 = I_0 + (-I'_2).$$

Здесь для первичной и вторичной обмоток трансформатора соответственно:  $E_1, E_2$  – ЭДС, В;  $I_1, I_2$  – ток, А;  $Z_1 = r_1 + jx_1, Z_2 = r_2 + jx_2$ , где  $r_1, r_2, x_1, x_2$  – активное и индуктивное сопротивления, Ом;  $j$  – плотность тока, А/м;  $I_0$  – ток намагничивания, А.

Основные уравнения трансформатора могут отображаться либо аналитически в виде векторных уравнений, либо графически в виде векторных диаграмм.

Входное сопротивление трансформатора  $Z_{вх}$  можно представить в виде определенной электрической схемы, называемой *схемой замещения трансформатора*. Ее легко получить, анализируя три приведенных выше уравнения.

Так как число витков первичной и вторичной обмоток у трансформатора разное, то ЭДС и токи в этих обмотках также неодинаковы. Поэтому сопоставлять эти величины или строить векторные диаграммы, где параметры первичной и вторичной обмоток суммируются, нельзя. Для устранения этого неудобства при исследовании трансформатора принято приводить все параметры вторичной обмотки к числу витков первичной. Приведенные параметры обозначаются штрихом.

Сопротивлению  $Z_{вх}$  соответствует Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 1, а. Здесь сопротивление  $Z_0 = r_0 + jx_0$  называется сопротивлением ветви намагничивания. Его активная составляющая  $r_0$  – это фиктивное сопротивление, обусловленное потерями в стали трансформатора, а реактивная составляющая  $x_0$  – индуктивное сопротивление взаимоиндукции, обусловленное магнитным сопротивлением основному потоку трансформатора.

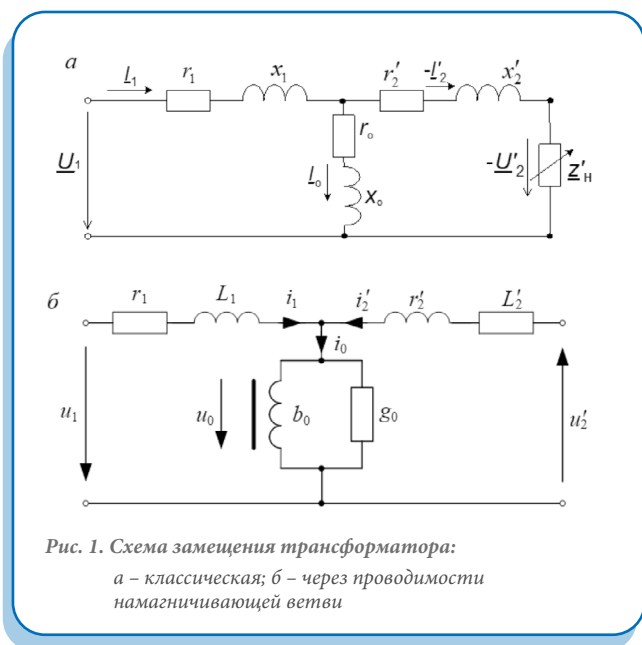


Рис. 1. Схема замещения трансформатора: а – классическая; б – через проводимости намагничивающей ветви

Таблица 1. Паспортные данные путевого трансформатора ТС-280Р

Параметры трансформатора	Число витков	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Напряжение в режиме ХХ, В
Первичная обмотка	548	220,0	1,5	–
Вторичная обмотка	361	138,4	2,4	145,3

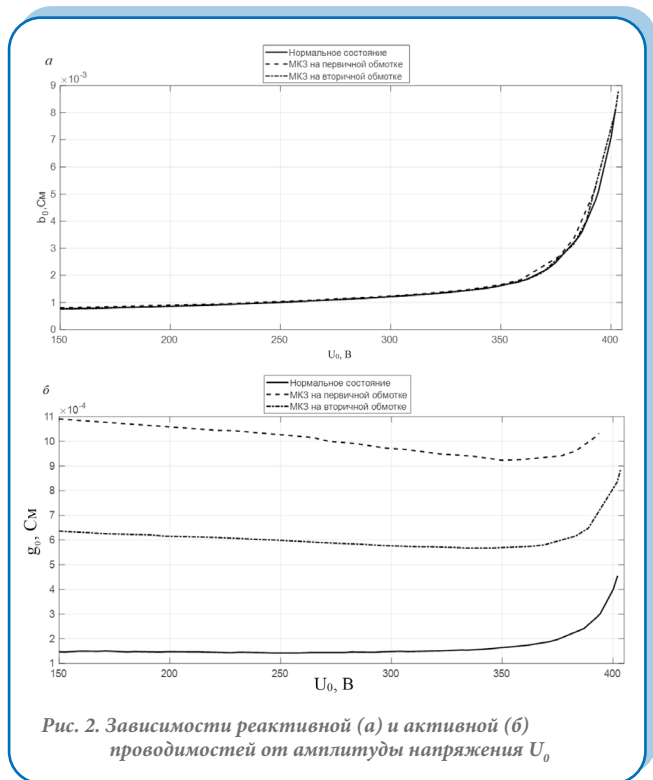


Рис. 2. Зависимости реактивной (а) и активной (б) проводимостей от амплитуды напряжения  $U_0$

Зная схему замещения трансформатора, параметры которой (за исключением нагрузки) практически постоянны, несложно провести исследование трансформатора при любой нагрузке. Сами же параметры схемы замещения можно определить с помощью опытов ХХ и КЗ.

В качестве примера исследовался путевой железнодорожный трансформатор ТС-280Р с паспортными данными, приведенными в таблице 1.

Для анализа процессов, происходящих в трансформаторе при МКЗ, используем Т-образную схему замещения с представлением ветви намагничивания через проводимости (рис. 1, б [8]).

Для учета нелинейных характеристик трансформатора выполнялись опыты ХХ. На основе их результатов получены зависимости реактивной ( $b_0$ ) и активной ( $g_0$ ) проводимостей от амплитуды подводимого к первичной обмотке напряжения  $U_0$  (рис. 2).

Как можно видеть на рисунке 3, а, при МКЗ на небольшом числе витков реактивная проводимость практически не изменяется по сравнению с нормальным состоянием. Активная проводимость  $g_0$  при МКЗ (потери на вихревые токи и гистерезис) изменяется непропорционально квадрату амплитуды магнитной индукции (рис. 3, б).

Для построения и моделирования схем замещения в системе компьютерной математики Matlab вместо ак-

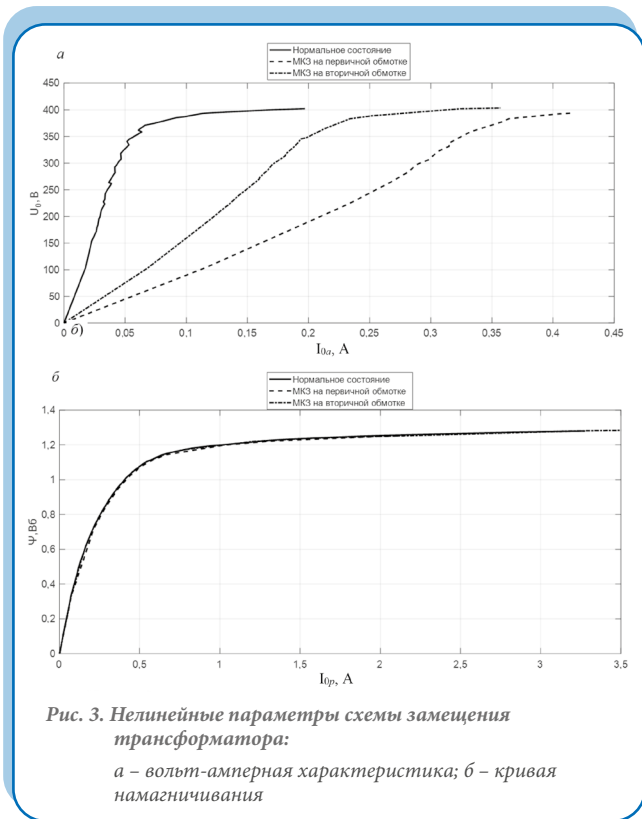


Рис. 3. Нелинейные параметры схемы замещения трансформатора:

а – вольт-амперная характеристика; б – кривая намагничивания

тивной проводимости  $g_0$  была использована вольт-амперная характеристика (рис. 3, а), а вместо реактивной проводимости  $b_0$  – кривая намагничивания (рис. 3, б), где  $I_{0a}$  и  $I_{0p}$  – активная и реактивная составляющие тока намагничивания  $I_0$ .

В ходе проведения опыта ХХ для нормального состояния и для МКЗ на различных обмотках были получены результаты, представленные в таблице 2. Для определения параметров рассеивания в обмотках был проведен опыт КЗ с использованием RLC-метра (таблица 3).

Как видно из данных таблицы 3, для небольшого количества короткозамкнутых витков сопротивление  $r_{кз}$  и ин-

Таблица 2. Результаты опытов холостого хода

Состояние	Измерено при $U_1 = U_{1н}$					Вычислено k
	$U_1$	$U_{20}$	$P_0$	$I_0$	$\cos\phi_0$	
	В	В	Вт	А		
Нормальное	220,0	145,7	7,4	0,28	0,12	1,509
МКЗ на первичной обмотке	219,9	146,0	43,0	0,34	0,57	1,506
МКЗ на вторичной обмотке	219,9	144,9	23,3	0,30	0,40	1,519

Таблица 3. Результаты опытов короткого замыкания

Состояние	Измерено		Вычислено			
	$r_{кз}$	$L_{кз}$	$r_1$	$L_1$	$r_2$	$L_2$
	Ом	мГн	Ом	мГн	Ом	мГн
Нормальное	9,610	5,838	4,805	2,919	2,107	1,280
МКЗ на первичной обмотке	9,390	5,790	4,695	2,895	2,070	1,276
МКЗ на вторичной обмотке	9,600	5,836	4,800	2,918	2,079	1,264

дуктивность  $L_{кз}$  в нормальном состоянии и при МКЗ существенно не отличаются.

Для верификации приведенных в таблице 3 параметров схемы замещения также учитывались следующие закономерности (значимо влияющие исходные факторы – число витков обмоток, температура и длина провода):

1) активное сопротивление обмоток трансформатора в общем виде

$$r = w l_{cp} / (\rho_{20} S \cdot 10^3),$$

где  $w$  – количество витков в обмотке;  $l_{cp}$  – средняя длина витка, м;  $\rho_{20}$  – удельная электрическая проводимость, См/м;  $S$  – площадь поперечного сечения провода, мм<sup>2</sup>.

Здесь также следует учесть небольшое увеличение активного сопротивления вследствие роста температуры в месте МКЗ;

2) индуктивное сопротивление обмоток трансформатора в общем виде

$$x = 1,58 f l w^2 \lambda \cdot 10^8,$$

где  $l$  – длина сердечника, м;  $\lambda$  – нелинейный коэффициент проводимости рассеяния поля.

На основании опытов ХХ и КЗ было выполнено моделирование трансформатора в нормальном состоянии и при МКЗ с помощью программы Simulink. Полученные схемы замещения трансформатора и результаты моделирования в режиме ХХ представлены на рисунке 4.

Как видно из полученных результатов (см. рис. 4), модель полностью согласуется с результатами экспериментов, причем не только в областях ХХ и КЗ, но и во всем спектре нагрузки между ними. Это говорит о возможности в дальнейшем получать нужные результаты с помощью данной модели, не прибегая к натурным экспериментам. Также на основании полученных схем замещения можно исследовать переходные процессы, возникающие в момент включения трансформатора, формы кривых различных напряжений и токов в установившемся режиме работы, а также проводить частотные анализы.

Для приборного диагностирования МКЗ на основе вышеприведенных формул и схем замещения в программе Simulink можно использовать ток намагничивания. Он отчетливо демонстрирует значимые отклонения от нормального режима ХХ при МКЗ на разных обмотках. На рисунке 5 показаны графики установившихся процессов тока намагничивания в режиме ХХ, с помощью которых авторы обучили имеющийся комплекс для диагностики неисправностей трансформаторов на основе СНС [6]. Полученные результаты позволяют дополнить и расширить возможности комплекса в части диагностики трансформаторов, испытываемых на наличие МКЗ, за счет определения поврежденной обмотки и количества поврежденных витков не только при непре-

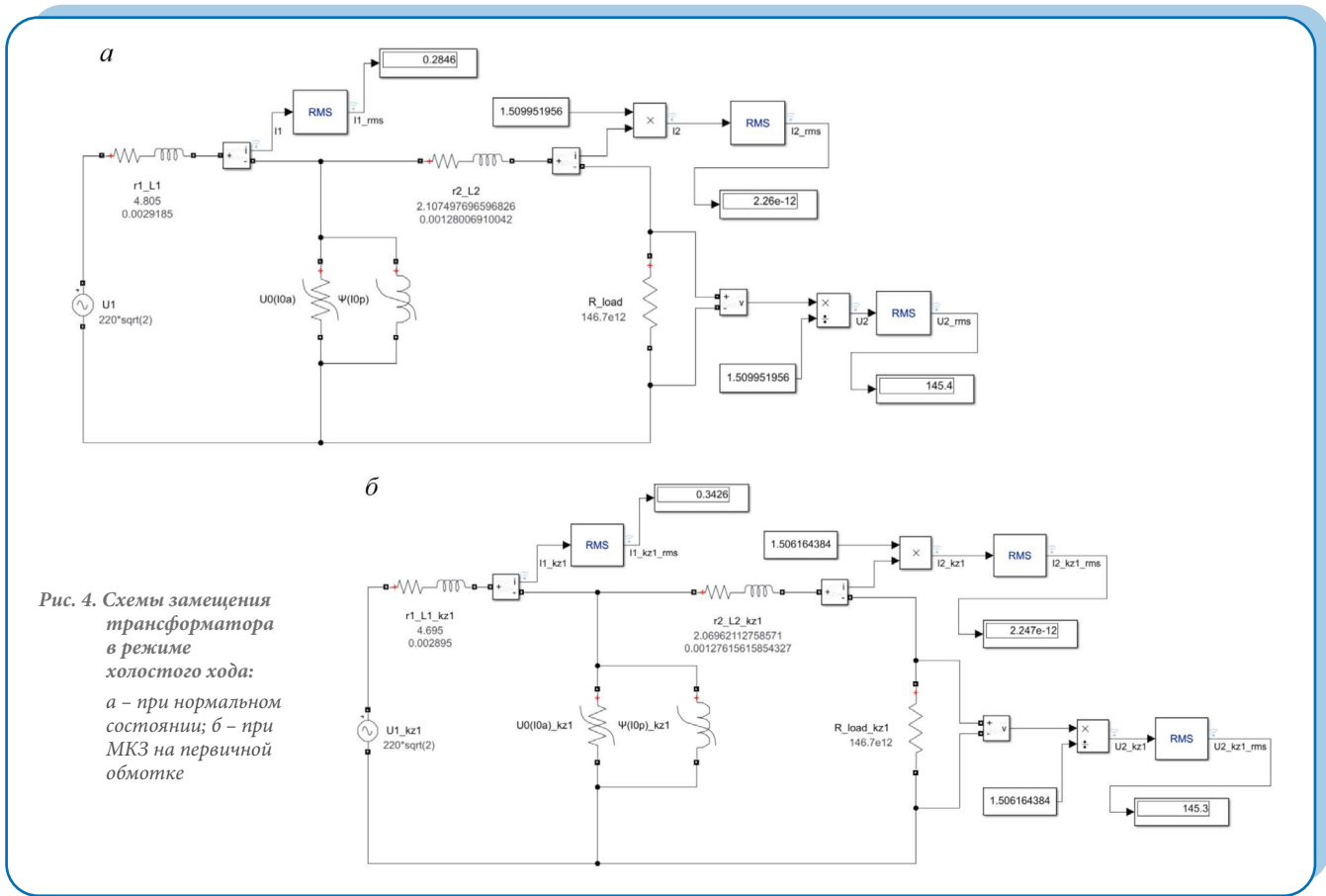


Рис. 4. Схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода: а – при нормальном состоянии; б – при МКЗ на первичной обмотке

равных измерениях, но и при подключении в режиме ХХ по заявкам предприятий.

- унифицировать исследования для трансформаторов различных мощностей и легко адаптировать под различное исполнение.

### Заключение

Рассмотренный математический инструментарий на основе схемы замещения с проводимостями для межвитковых замыканий трансформаторов позволяет решать следующие задачи:

- выполнять анализ электромагнитных процессов для настройки оборудования и аппаратов защиты;
- получать модельным способом выборки для обучения сверточных нейронных сетей;
- исследовать переходные процессы, возникающие в момент включения трансформатора, и проводить частотные анализы;

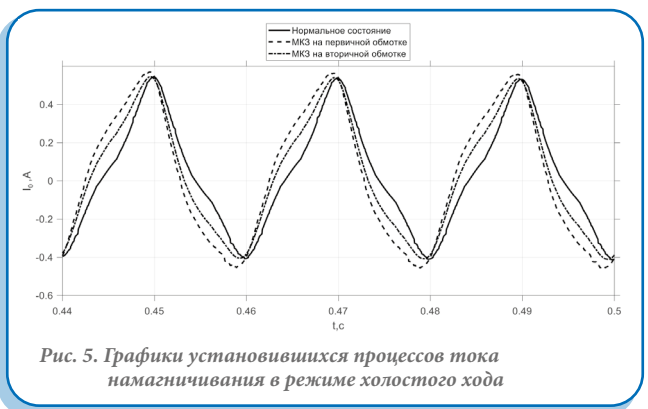


Рис. 5. Графики установившихся процессов тока намагничивания в режиме холостого хода

### Список литературы

1. Трансформаторы силовые. Общие технические условия: ГОСТ 11677-85. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 39 с.
2. Попов, Г.В. Алгоритм комплексной диагностики масляных трансформаторов / Г.В. Попов, Ю.Ю. Рожожников // Электрические станции. – 2003. – № 8. – С. 54–59.
3. Комбинированные системы сбора и передачи технологической и диагностической информации АСУТП электроустановок / А.Н. Васев [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 11–12. – С. 16–26. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-16-26>
4. Кубарев, А.Ю. Методы исследования свойств дефектного электрооборудования / А.Ю. Кубарев, А.Б. Акирова, Ю.Е. Кубарев // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3–4. – С. 108–115. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-108-115>
5. Gaser, H.P. Condition Assessment of the Cellulosic Insulation from Power Transformers Taken out of Service / H.P. Gaser, B. Heireich, C. Krause // Proc. of the Inter. Symp. on High Voltage Engineering, Beijing (China), 25–29 August 2005.
6. Громыко, И.Л. Диагностический комплекс трансформаторов и его применение с помощью сверточных нейронных сетей / И.Л. Громыко, В.О. Белькин, В.Н. Галушко // Вестн. БелГУта: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 92–96.
7. Omicron [Электронный ресурс] // Диагностические испытания и мониторинг силовых трансформаторов. – Гомель, 2023. – Режим доступа: <https://www.omicronenergy.com>. – Дата доступа: 18.01.2023.
8. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники: учеб. для вузов / К.С. Демирчян, Л.П. Нейман, Н.В. Коровкин. – 5-е изд. – Т. 2. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.: ил.

О.Б. ГУРКО,  
к.т.н., ведущий научный сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси

М.А. КОЗЕЛ,  
старший научный сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси

И.А. РЫМАРЧИК,  
старший научный сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны»  
НАН Беларуси

Т.Н. КОРБУТ,  
к.т.н., зам. генерального директора по науке  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси

Л.Г. ЛУКАШЕВИЧ,  
старший научный сотрудник  
ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси

# КУЛЬТУРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Система физической ядерной безопасности учитывает возможность не только непреднамеренной ошибки человека, но и умышленных действий с целью причинения ущерба. В связи с этим самостоятельное значение в организациях приобретает культура физической ядерной безопасности. Она предполагает особое отношение и поведение руководителей и персонала, включающее соблюдение требований к защите информации и применение мер по сдерживанию злоумышленных действий. Эффективность культуры физической ядерной безопасности оценивается по ряду общих характеристик и отдельных показателей, которые образуют сложную иерархию.

## Часть 2

В первой части статьи [1] разъяснялась разница между понятиями «ядерная безопасность» и «физическая ядерная безопасность», «культура безопасности» и «культура физической ядерной безопасности». Было дано определение культуры физической ядерной безопасности (КФБ) и рассмотрены ее основные элементы: роль государства, роль организаций и их руководителей, а также отношение к делу отдельных лиц. В второй части статьи подробно характеризуется эффективная КФБ и ее отдельные показатели.

Характеристики эффективной КФБ приведены в соответствии с широко используемой моделью организационной культуры [2]. Данная трехуровневая модель (см. рисунок) применима:

- к ядерным установкам и организациям, включая АЭС, установки ядерного топливного цикла, исследовательские реакторы, средства для перевозки ядерных материалов (ЯМ), пользователей радиоактивных источников;
- другим организациям, которые обрабатывают/хранят радиоактивные материалы (РМ);
- организациям таможенного и пограничного контроля.

Характеристиками (уровнями) КФБ согласно [3] являются:

- убеждения и отношение к делу;
- руководящие принципы;
- системы управления;
- поведение.

Правильное сочетание указанных характеристик обеспечивает достижение такого уровня КФБ, при котором система обеспечения ФЯБ полностью выполняет свои функции.

Описывать и оценивать характеристики КФБ в организации позволяют отдельные показатели.

## Убеждения и отношение к делу

В основе КФБ лежит признание лицами, которые играют определенную роль в регулировании (управлении, эксплуатации) ядерных объектов или связанной с ними деятельности, и лицами, которых может затрагивать эта деятельность, **существования реальной угрозы и важности обеспечения ФЯБ.**

Убеждения и отношение к делу, которые формируются в сознании людей с течением времени, становятся определяющими факторами в их поведении и влияют на то, как люди реагируют на проблемы и события, связанные с ФЯБ. На убеждения и отношение

к делу, которых придерживаются отдельные лица, влияет то, что делают или не делают, говорят или не говорят другие (в частности, руководители высшего звена). Некоторые из убеждений прививаются «сверху» (по инициативе руководителей) и закрепляются на основе приобретаемого опыта. После того как коллектив начинает разделять такие убеждения и отношение, они получают распространение внутри организации и становятся общепринятыми для всего персонала.

Эффективность ФЯБ зависит от степени, в которой необходимые убеждения и отношение к делу в целом принимаются и проявляются в поведении и практической деятельности. При наличии высокого уровня КФБ люди, несущие ответственность за использование, обращение, сохранность или перевозку ЯМ/РМ и связанных с ними установок и деятельности, придерживаются твердого убеждения, что существует реальная угроза, исходящая от внутренних и внешних нарушителей, и что обеспечение ФЯБ имеет важное значение.

Таким образом, убеждения и отношение к делу – это фундамент КФБ, так как они определяют поведение людей, которое в конечном счете влияет на эффективность ФЯБ в плане достижения целей, например, в об-



Модель эффективной культуры физической ядерной безопасности

ласти ядерного нераспространения и борьбы с ядерным терроризмом [4]. Без этой прочной базы высокий уровень КФБ существовать не может. Обеспечение ФЯБ должно стать заботой всех, кто работает на установках, в соответствующих местах или организациях, включая не только специалистов по обеспечению физической безопасности, но и широкую общественность (до некоторой степени).

### Руководящие принципы

Высокий уровень КФБ требует закрепления ряда принципов, которые руководители могут внедрять в организации для управления процессом принятия решений и поведением.

Руководящие принципы – достаточно сложная по составу показателей характеристика КФБ.

**Мотивация.** Мотивация, являющаяся ключевым фактором поведения, полностью определяется принятыми убеждениями и ценностями. При этом мотивированность и, как следствие, эффективность работы отдельных сотрудников в значительной мере зависят от поощрений и поддержки, получаемых от руководителей, коллег и подчиненных.

**Лидерство.** На эффективность работы сотрудников наибольшее влияние

оказывают ожидания, формулируемые руководством организации. При этом руководители среднего и нижнего звена должны постоянно подтверждать приверженность обеспечению ФЯБ своими словами и действиями.

**Приверженность делу и ответственность.** Максимальная эффективность системы ФЯБ обеспечивается, когда каждый привержен общему делу и несет личную ответственность за свои действия при выполнении обязанностей и, таким образом, за работу всей системы.

**Профессионализм и компетентность.**

Для обеспечения ФЯБ требуется, чтобы работники имели профессиональную подготовку и знания, необходимые для выполнения их должностных обязанностей. Соответствующим образом обученный персонал должен быть в состоянии эффективно реагировать на любые нештатные и чрезвычайные ситуации.

**Приобретение опыта и совершенствование.** Уровень ФЯБ может быть повышен путем постоянного проведения самооценки, выяснения причин возникновения ошибок, извлечения уроков и использования передовой практики.

Руководящие принципы должны быть разъяснены персоналу, и их соблюдение следует прививать сотрудникам, демонстрируя доказательства того, что эти принципы последовательно соблюдаются в рамках всей организации.

### Системы управления

Хорошо развитая система управления является важным элементом эффективной ФЯБ. Качество управления влияет на эффективность работы персонала и выражается в выполнении ожиданий руководства, соблюдении требований и стандартов ведения работ, обучении, документировании

процедур, внедрении информационных систем и т.д. Правильно сформированные системы управления ставят во главу угла вопросы физической безопасности.

Характеристика систем управления включает значительное количество показателей.

**Наглядно реализуемая политика в области обеспечения ФЯБ.** В эксплуатирующей организации должен быть разработан и утвержден документ, излагающий концепцию принятой политики. Документ должен подтверждать приверженность организации обеспечению ФЯБ и устанавливать максимально высокие ожидания (требования) в отношении принятия решений и поведения для поддержания необходимого уровня профессионализма в этой области. Важно, чтобы у персонала формировалось понимание того, что соблюдать эту политику должны все сотрудники.

Общие ожидания могут быть сформулированы в документально оформленном кодексе поведения. Они должны включать такие аспекты, как защита информации, информированность о потенциальных проблемах и угрозах, связанных с ФЯБ, проявление бдительности, сообщение об инцидентах, имеющих отношение к ФЯБ.

**Четко определенные роли и обязанности.** Важным условием эффективной структуры управления ФЯБ является четкое определение ролей и обязанностей. Для достижения желаемых результатов сотрудники организации должны четко понимать, кто за что отвечает. Особенно важно пересматривать и обновлять систему распределения ролей и ответственности при планировании и введении в действие организационных изменений.

**Оценка эффективности работы.** Для формулирования ожиданий со стороны руководителей и вовлечения сотрудников в процесс достижения желаемых результатов необходимы количественные показатели эффективности обеспечения ФЯБ и выполнения соответствующих целевых установок. Эти показатели должны регулярно оцениваться.

**Рабочая среда.** Физическая и психологическая рабочая среда оказывает большое влияние (как прямое, так и опосредованное) на то, как сотрудники выполняют задания и соблюдают требования ФЯБ.

**Обучение и квалификация персонала.** Высокий уровень КФБ могут поддерживать сотрудники, имеющие необходимые знания и квалификацию и выполняющие свои функции в соответствии с установленными нормами. Поэтому необходимо применять системный подход к подготовке и повышению квалификации кадров.

**Руководство работой.** Все выполняемые работы должны соответствующим образом планироваться и контролироваться с целью недопущения ослабления ФЯБ.

**Информационная безопасность.** Контроль доступа к чувствительной информации является важнейшим элементом обеспечения ФЯБ. Соответственно, организация должна классифицировать информацию по степени секретности и принимать действенные меры по ее защите.

**Эксплуатация и техническое обслуживание (ТО).** Для достижения целей ФЯБ используется широкий спектр систем (учета и контроля, физической защиты, управления компьютерами и др.). Оборудование систем обеспечения ФЯБ требует выполнения операций текущей эксплуатации, периодического ТО и время от времени работ по модификации и замене оборудования. Во всех случаях необходимо, чтобы предписанная функция системы не нарушалась, а при выводе системы из эксплуатации принимались компенсирующие меры.

**Постоянное определение благонадежности персонала.** Любые процедуры обеспечения ФЯБ (барьеры защиты) могут не сработать в случае, если помощь в совершении правонарушения оказывает сотрудник данной организации (внутренний нарушитель). Следовательно, должны применяться эффективные процедуры проверки благонадежности персонала и меры по снижению угроз, связанных с действиями внутренних нарушителей.

**Обеспечение качества.** Функция обеспечения ФЯБ требует такого же уровня строгости контроля и оценки, как и любая другая составляющая основной деятельности организации. Поэтому в данной области необходимо применять стандартные методы менеджмента качества. Для сотрудников, занимающихся вопросами ФЯБ, важны документальные свидетельства позитивных результатов, получаемых от

ализации соответствующих инициатив, и убежденность в том, что качество услуг помогает организации завоевывать доверие и поддержку людей.

**Управление изменениями.** Многие организационные проблемы являются результатом неадекватного управления изменениями. Эти изменения могут касаться оборудования, процедур, организационной структуры, распределения функций или персонала. Следовательно, должно обеспечиваться получение информации о прогрессивных изменениях, имеющих отношение к ФЯБ, их планирование, осуществление и максимальное распространение.

**Процесс обратной связи.** Организация, которая способна учиться на собственном опыте и опыте других, будет в состоянии постоянно повышать эффективность своей деятельности по обеспечению ФЯБ. Для этого должны активно применяться процессы, обеспечивающие обмен внутренним и внешним опытом, его анализ и использование.

**План чрезвычайных мер и тренировок.** Система обеспечения ФЯБ должна быть в постоянной готовности к реагированию на события в любой момент времени. Поэтому обязательно наличие планов чрезвычайных мер, применяемых в случае злоумышленных действий (попыток их совершения) или для устранения нарушений в защите. Периодически должны проводиться соответствующие тренировки и учения, максимально приближенные к реальным условиям.

**Проведение самооценок.** В организации должна быть внедрена система самооценки, включающая широкий набор программ по оценке, анализу коренных причин нарушений, применению оценочных показателей, извлеченным урокам и контролю корректирующих мероприятий, используемых для обеспечения ФЯБ.

**Взаимодействие с регулирующим органом.** Обеспечение эффективной ФЯБ часто подразумевает взаимодействие с несколькими регулирующими и правоохранительными органами. С ними важно иметь конструктивные рабочие отношения прежде всего для обмена информацией по важным вопросам ФЯБ. Отношения включают не только взаимодействие между регулирующим органом и регулируемой организацией, но и вы-

работку политики и решение других бюрократических вопросов.

**Координация действий с внешними организациями.** Координация действий подразумевает связь на уровне персонала и административного руководства с местными и национальными организациями, участвующими в обеспечении ФЯБ. С соответствующими организациями также могут быть оформлены письменные договоренности об оказании помощи, содействии связи и своевременном реагировании на инциденты.

## Поведение

КФБ в организации во многом находит свое отражение в моделях поведения руководителей и персонала. Надлежащее поведение способствует повышению эффективности ФЯБ, и наоборот. Поведение представляет собой наблюдаемые действия или заявления, в основе которых лежат внутренние факторы. Следует учитывать, что люди склонны воспринимать и копировать модели поведения, сложившиеся в коллективе. После того, как эти модели укоренились, их трудно изменить.

Важно отметить, что поведение руководителей и персонала оценивается по разным показателям.

### Поведение руководителей

**Ожидаемые результаты.** Руководители должны формулировать соответствующие ожидания (требования) в отношении эффективности ФЯБ для осуществления руководства сотрудниками при выполнении ими своих обязанностей.

**Использование полномочий.** Административное руководство определяет ответственность и полномочия для каждой должности в рамках организации, в том числе в части обеспечения ФЯБ. Полномочия должны быть четко сформулированы и зафиксированы в документальной форме.

**Принятие решений.** Процесс принятия решений в организации является важным составным элементом КФБ. Сочетание официальных и инклюзивных (с привлечением персонала) процессов показывает сотрудникам, что административное руководство придает большое значение вопросам обеспечения ФЯБ и стремится к повышению качества принимаемых решений в этой области.

**Управленческий надзор.** Уровень КФБ зависит от поведения отдельных лиц, а поведение каждого, в свою очередь, в значительной степени зависит от навыков управления и организации надзора.

**Вовлечение персонала.** Эффективность работы повышается, если люди имеют возможность высказывать свои мнения и идеи. В организации следует внедрять соответствующие механизмы для обеспечения ФЯБ.

**Эффективная коммуникация.** Важным элементом КФБ являются действия, направленные на поощрение и поддержание обмена информацией в рамках всей организации.



**Улучшение показателей эффективности работы.** Во избежание самоуспокоенности организация должна постоянно добиваться повышения эффективности обеспечения ФЯБ. Руководителям следует показывать на личном примере и путем принятия управленческих мер, что в соответствии с ожиданиями работники должны стремиться к приобретению опыта и совершенствованию всех процессов.

**Мотивация** (как организованный процесс). Поведение отдельных лиц зависит от их мотивации и отношения к делу. Важную роль в повышении эффективности обеспечения ФЯБ играют системы как личной, так и групповой мотивации.

**Поведение персонала**  
**Профессиональное поведение.** Необходимо, чтобы во всех организациях, занимающихся обеспечением ФЯБ, персонал отвечал высоким стандартам профессионализма.

**Персональная ответственность.** Под ответственным пове-

дением подразумевается, что все работники знают поставленные перед ними конкретные задачи, имеющие отношение к обеспечению ФЯБ (что они должны сделать, к какому сроку и с каким результатом), и они либо выполняют эти задачи в соответствии с ожиданиями, либо сообщают своему непосредственному руководителю о том, что не могут это сделать.

**Соблюдение процедур.** Процедуры представляют собой отражение совокупных знаний и опыта. Во избежание повторения ошибок, которые уже были выявлены и исправлены, важно, чтобы процедуры соблюдались. Необходимо также, чтобы

они были четкими и понятными, удобными и актуальными, в противном случае персонал будет вынужден отступать от утвержденных регламентов и методов работы.

**Взаимодействие в коллективе и сотрудничество.** Взаимоотношения в коллективе являются очень важным фактором. Высокий уровень КФБ может быть достигнут в организации с развитым и широким межличностным взаимодействием, при котором отношения между работниками остаются в целом доброжелательными и профессиональными.

**Бдительность.** Физическая безопасность зависит от бдительности и наблюдательности персонала. Оперативное выявление потенциально уязвимых мест позволяет принимать активные корректирующие действия.

Следует подчеркнуть, что эффективность ФЯБ зависит от поведения всех сотрудников, в том числе их бдительности, критической позиции, точного исполнения обязанностей

и соблюдения высоких норм индивидуального и коллективного поведения.

## Заключение

Последовательное и строгое соблюдение принципов КФБ подразумевает, что персонал должен постоянно помнить о необходимости поддержания высокого уровня физической безопасности. В конечном счете весь режим ФЯБ держится на людях. Именно человеческому фактору, включая вопросы управления и лидерства, следует всякий раз уделять внимание в работе, направленной на повышение КФБ.

При высоком уровне КФБ все сотрудники несут ответственность за свои действия и мотивированы на обеспечение ФЯБ. Они должны строить свое поведение с учетом конкретных обстоятельств и возможных последствий этого поведения. К исполнению обязанностей по обеспечению ФЯБ применяется строгий и рациональный подход, особое внимание уделяется защите ЯМ и РМ, связанных с ними установок и деятельности, включая перевозку (транспортировку). Высокий уровень КФБ характеризуется соблюдением норм, правил и процедур, а также постоянным проявлением бдительности и активной критической позиции со стороны персонала.

В итоге достигается цель – эффективная КФБ, которая обеспечивает уверенность в том, что вся система ФЯБ в полном объеме выполнит свои функции (предотвращение, обнаружение, реагирование, задержание нарушителей) в случае хищения, диверсии, несанкционированного доступа, незаконной передачи или других злоумышленных действий, вовлекающих ЯМ и РМ, связанные с ними установки и деятельность, а также транспортные средства, используемые для перевозки этих материалов.

### Список литературы

1. Культура физической ядерной безопасности. Часть 1 / О.Б. Гурко [и др.] // Энергетическая стратегия. – № 2 (98). – С. 22–25.
2. Schien, E.H. Organization culture and leadership / E.H. Schien. – 3rd edn. – San Francisco: Jossey-Bass, 1977.
3. Культура физической ядерной безопасности [Электронный ресурс]: Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности № 7 / МАГАТЭ. – Вена, 2008. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/10656/kultura-fizicheskoy-yadernoy-bezopasnosti>. – Дата доступа: 04.12.2023.
4. Международная конвенция о борьбе с актами ядерного терроризма [Электронный ресурс]: резолюция A/RES/59/290 Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций. – Режим доступа: <http://hrlibrary.umn.edu/russian/instrree/Rnuclearterrorism.html>. – Дата доступа: 13.05.2024.



А.С. ТАЕВ,  
заместитель начальника отдела  
охраны труда государственного  
предприятия «Белорусская АЭС»

# ИНСТРУМЕНТЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Главная задача АЭС – производство электроэнергии безопасным, надежным и эффективным способом, при этом безопасность должна оставаться первостепенным приоритетом. Между тем атомная электростанция относится к предприятиям с очень высоким уровнем риска, так как при ее эксплуатации существует потенциальная возможность радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду. Большинство аварий происходит в результате неправильных действий работников, обусловленных их поведением, отношением к своим обязанностям и соблюдению требований безопасности.

## Барьеры защиты и ошибки персонала

Основополагающим принципом технологии безопасности атомной энергетики является принцип глубоководной защиты, который заключается в создании перекрывающих друг друга защитных барьеров на пути перерастания случившегося события в негативную ситуацию (отклонение, нарушение, авария), которая может нанести вред персоналу, населению или окружающей среде.

Барьеры защиты условно можно разделить на три группы:

- **первая группа** – ряд последовательных физических барьеров;
- **вторая группа** – технические и административные мероприятия по сохранению целостности и эффективности физических барьеров;
- **третья группа** – правильное поведение персонала при выполнении работ, связанных с безопасностью.

Надежность первой группы барьеров определяется качеством разработки и реализации проекта и исправностью оборудования, второй группы – совершенством рабочих процессов и процедур, третьей – уровнем культуры безопасности в организации.

При четком функционировании всех барьеров любое исходное событие

не приводит к негативным ситуациям, так как срабатывает защита. Однако каждый из барьеров может иметь уязвимость (оборудование отказывает, инструкции могут быть несовершенны, людям свойственно ошибаться), что повышает вероятность перерастания события в негативную ситуацию.

Персонал своими действиями способен как предотвратить развитие событий, так и усугубить его. Целью стремления к совершенству в работе персонала является существенное снижение числа нарушений и аварий, вызванных человеческими ошибками. Эти ошибки могут быть обусловлены различными причинами, связанными с индивидуальным поведением работников, методами руководства, а также организационными процессами и корпоративными ценностями.

Что касается ошибок, то в нормах и правилах по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций» приводятся следующие термины и определения:

- «ошибка персонала – единичное непреднамеренное неправильное действие или единичный пропуск правильного действия при управлении системами и элементами АЭС, или

единичное непреднамеренное неправильное действие, или пропуск правильного действия при техническом обслуживании или ремонте систем и элементов АЭС»;

- «ошибочное решение – неправильное выполнение или невыполнение персоналом АЭС ряда установленных действий из-за неверной оценки протекающих процессов».

Работа с персоналом, направленная на постоянное применение инструментов предотвращения ошибочных действий, позволяет уменьшить частоту нежелательных событий, сформировать безопасное поведение работников, свидетельствующее об их приверженности культуре безопасности на индивидуальном уровне.

В Руководстве по применению средств предотвращения ошибок оперативного и ремонтного персонала Белорусской АЭС рассматриваются семь основных инструментов предотвращения ошибочных действий:

- 1) четкие коммуникации;
- 2) контроль действий, включая самоконтроль;
- 3) инструктажи перед проведением работ;
- 4) критический разбор действий после проведения работ;
- 5) правильное использование инструкций и приверженность им;

- 6) критический подход;
- 7) использование опыта эксплуатации.

Основная цель применения перечисленных инструментов – помочь персоналу безошибочно и эффективно выполнять рабочие задания, свести к минимуму вероятность неправильных действий при производстве работ.

### Четкие коммуникации

Коммуникация – процесс обмена и передачи информации персоналом при выполнении любых работ на оборудовании АЭС. Для оперативного персонала важнейшим элементом коммуникации являются оперативные переговоры. Требования к ним изложены в Инструкции по ведению оперативных переговоров, оповещения персонала и отдаче распоряжений Белорусской АЭС.

Так, инструкцией предусмотрено, что оперативные переговоры ведутся с применением следующих принципов:

- 1) трехразовая (трехшаговая) коммуникация;
- 2) единообразное произношение буквенно-цифровых обозначений всем персоналом АЭС (фонетический алфавит).

**Трехразовая коммуникация.** Такая форма обмена информацией используется для правильного понимания задачи участниками процесса. Обмен устными сообщениями между лицом, передающим информацию, и лицом, получающим ее (как в личной беседе, так и с использованием технических средств связи), выполняется в три приема (шага). После получения распоряжения (1) оно повторяется лицом, его принявшим (2), и правильность приема подтверждается лицом, отдавшим распоряжение (3). Это позволяет обеспечить точное понимание поставленной задачи и минимизировать (исключить) ошибочные действия.

Трехразовая коммуникация обязательно применяется при отдаче (получении) распоряжений, выполнении инструкций, программ или бланков переключений, передаче информации о параметрах или состоянии оборудования.

#### Единообразное произношение.

На Белорусской АЭС все системы и элементы оборудования имеют бук-

венно-цифровые обозначения, так называемые коды KKS. Чтобы исключить неправильное восприятие на слух устно передаваемой буквенно-цифровой информации, на предприятии установлен стандартизированный способ прочтения букв в шифрах KKS – фонетический алфавит. Во избежание неправильного понимания и толкования произношение букв в кодах всем персоналом осуществляется единообразно.

Факторами, ухудшающими восприятие устной речи на слух, являются:

- передача близких по звучанию буквенно-цифровых обозначений конкретных систем или единиц оборудования, например: «KPF 01»/«KBF 01», «MAL 01»/«MAN 01»/«MAM 01»; «JMN 01»/«PGB 01»/«JNG 01»;
- передача устойчивой аббревиатуры, которую легко спутать с другой, например: «ПЭН» (питательный электронасос) и «ВПЭН» (вспомогательный питательный электронасос);
- помехи канала технического средства связи;
- наличие у передающего информацию особенностей речи, которые могут привести к искажению информации;
- нахождение хотя бы одного из участников коммуникации в условиях повышенного шума и т.д.

Правила произношения букв алфавита в шифрах кодов KKS установлены Инструкцией по ведению оперативных переговоров, оповещения персонала и отдаче распоряжений Белорусской АЭС. В случае возникновения условий, при которых возможно ухудшение восприятия устной информации, для обозначения букв применяются полные имена в именительном падеже или рекомендуемые слова.

### Контроль действий

Контроль действий персонала с высокой степенью вероятности позволяет избежать ошибок при выполнении любых работ.

Используются следующие виды контроля:

- самоконтроль (метод STAR);
- контроль вторым лицом (одновременный контроль, независимый контроль).

**Самоконтроль.** Негативные события, обусловленные ошибками

персонала, в основном связаны с воздействием работников на органы управления оборудованием. В свою очередь, ошибки таких категорий работников, как руководители, инженеры, технологи и т.п., не связаны с воздействием на органы управления и могут выявляться не сразу, но при этом способны создавать на производстве скрытые условия, которые в результате приводят к негативным событиям.

Должное использование самоконтроля улучшает способность всего персонала на всех уровнях распознавать потенциально проблемные ситуации перед тем, как нежелательная ситуация возникнет.

Широко применяемый во всем мире метод самоконтроля получил название STAR: Stop (Остановись) – Think (Подумай) – Act (Сделай) – Review (Проверь и доложи).

Применение этого метода способствует качественному выполнению работ, помогает работнику постоянно обращать внимание на детали выполняемой задачи. Основная цель самоконтроля – активизировать внимание и проанализировать намеченные действия, предусмотреть ожидаемый результат до начала выполнения задачи и проверить результаты после ее выполнения.

Самоконтроль (метод STAR) осуществляется исполнителем следующим образом:

1. *Остановись/приостановись.* После получения распоряжения работник делает паузу и концентрирует внимание на задаче, устраняет возможные отвлекающие факторы, оценивает применимость процедуры и необходимость помощи.

2. *Подумай/обдумай.* Перед выполнением работы работник изучает задание, убеждается, что понимает цель работы, свои предстоящие действия и действия своих коллег, оценивает, есть ли у него нужные инструкции и инструменты, а также достаточные знания для выполнения работы, анализирует ожидаемые последствия, продумывает действия при отказе оборудования, рассматривает возможность ошибок и их последствия, при наличии сомнений или неопределенности – не выполняет операцию.

3. *Сделай/выполни.* Работник выполняет намеченное действие в соответствии с установленной процедурой: сравнивает маркировку элемента,



убеждается в правильности его выбора; приступает к следующему действию только убедившись, что предыдущее выполнено в соответствии с установленной процедурой; следит за параметрами и состоянием оборудования; прекращает работу, если возникли проблемы, при необходимости обращается за помощью.

4. *Проверь/оцени и доложи/сообщи.* Выполнив задание, работник убеждается, что его действия привели к ожидаемому результату и критерии правильного выполнения работ соблюдены, делает необходимую запись и оформляет документацию, докладывает руководителю об окончании работ и об имевших место трудностях, предлагает, что можно улучшить, как усовершенствовать процедуры и оборудование.

**Одновременный контроль вторым лицом** – контроль правильности выбора элемента и проведения последующего действия, осуществляемый исполнителем и контролирующим лицом непосредственно при выполнении задачи с использованием принципа трехразовой коммуникации.

Цель одновременного контроля – предотвращение ошибки исполнителя непосредственно в ходе работы, при этом контроль направлен на правильное выполнение действия. Применение этого вида контроля не освобождает исполнителя и контролирующего от следования методу STAR, а усиливает самоконтроль, не заменяя его.

Одновременный контроль осуществляется с обязательным использованием процедуры (инструкции, программы, бланка, ведомости и т.д.)

и трехшаговой коммуникации следующим образом:

**перед выполнением действия:**

- шаг 1 – контролирующее лицо зачитывает из инструкции наименование (маркировку) элемента, убеждается в правильности выбора элемента или органа управления, зачитывает по бланку планируемое действие;

- шаг 2 – исполнитель определяет элемент, касается его, повторяет вслух наименование элемента и планируемое действие;

- шаг 3 – контролирующее лицо повторяет название элемента и действия, подтверждает правильность выбора элемента и приема команды исполнителем и разрешает выполнение действия;

**выполнение действия:**

- шаг 1 – исполнитель выполняет требуемое действие, не теряя визуального и тактильного контакта с элементом;

- шаг 2 – второе лицо контролирует правильность выполнения действия.

После завершения работы проводится независимый контроль. Он выполняется лицом, не принимавшим участия в выполнении работ. При этом используются те же методы и та же документация, которые применял исполнитель работ. Результаты независимого контроля отражаются в бланках переключений, программах, ведомостях состояния оборудования (системы) или в другой документации.

Одновременный контроль направлен на предупреждение возможных ошибок до их совершения, а независимый – на выявление допущенных ошибок после выполнения работы.

### Инструктажи и приверженность инструкциям (процедурам)

Инструктаж проводится до начала работы с целью обсуждения задач, рисков, мер обеспечения безопасности и помогает работникам лучше понять, что нужно сделать и чего следует избегать при выполнении задания. В процессе инструктажа обсуждается цель стоящей перед работниками задачи, их обязанности, ответственность, применяемые средства защиты и инструменты. Рассматриваются действия персонала в случае нарушения нормальной эксплуатации или в аварийных ситуациях, ограничения и факторы опасности. В качестве примеров на этапе инструктажа может использоваться соответствующий опыт эксплуатации.

Правильное использование инструкций (процедур) и приверженность им – это четкое следование инструкциям (процедурам) с целью правильного выполнения предписанных действий. Вместо того, чтобы в ходе работ полагаться на память, персонал должен непосредственно обращаться к инструкции (процедуре). Однако «слепое» следование письменным указаниям также не является эффективным. Важно помнить, что выполнение требований инструкции должно быть осмысленным, так как они могут содержать ошибки или скрытые недостатки. Следовать инструкции (процедуре) необходимо, четко представляя ее смысл и цели, – в этом и заключается правильное использование.



### Критический подход и анализ действий

Приверженность инструкциям должна дополняться критическим подходом (позицией) исполнителя работ. Прежде чем действовать, работник должен задать себе и своим коллегам вопросы, касающиеся выполнения работы: понятна ли мне (нам) задача? Каким должен быть результат? Какова связь задания с безопасностью? Достаточно ли у меня (у нас) знаний и информации для выполнения работы? Нужна ли мне (нам) помощь? Какие могут произойти инциденты и ошибки, что нужно сделать, чтобы их избежать?

Соответственно, после проведения работ действия должны подвергаться критическому разбору (анализу). Регулярная самооценка необходима для получения обратной связи от исполнителей работ. Такой подход дает возможность выявить как слабые места в технологических процессах, программах, инструкциях и т.д., так и положительные моменты, что может способствовать дальнейшей работе АЭС без отклонений и ошибок персонала. Информация, полученная после выполнения работы путем обратной связи, является очень важной. Если исполнители не передают такую информацию, руководители теряют возможность своевременно устранять слабые места.

### Использование опыта эксплуатации

Информация о внутреннем и внешнем опыте эксплуатации используется при проведении целевых инструктажей перед выполнением работ, планировании работ, формиро-

вании сменных заданий, разработке эксплуатационных процедур.

Кроме того, изучение опыта эксплуатации – важная составляющая подготовки и поддержания квалификации персонала. Анализ и обсуждение потенциально опасных ситуаций, имевших место при выполнении аналогичных работ в прошлом, а также сведений о персонале, фактах, событиях, явлениях и процессах, оказавших неблагоприятное воздействие на безопасность и надежность, способствует предотвращению повторения таких ситуаций и внедрению на АЭС положительных практик.

В сочетании с другими инструментами предотвращения ошибочных действий персонала использование опыта эксплуатации позволяет снизить вероятность ошибок при выполнении любых работ на оборудовании АЭС.

Источниками информации об опыте эксплуатации являются:

- внутренний опыт эксплуатации: отчеты о расследовании событий, произошедших на Белорусской АЭС; годовые отчеты по анализу информации о событиях в работе станции;

- внешний опыт эксплуатации: отчеты о расследовании событий, произошедших на АЭС других стран; информационные сообщения МАГАТЭ об инцидентах на АЭС; сообщения Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (ВАО АЭС) о значительном опыте эксплуатации и значительных событиях; краткая ежемесячная информация ВАО АЭС о событиях на АЭС других стран и предварительные уведомления о таких событиях.

### Заключение

По данным МАГАТЭ, не менее 60 % происшествий на объектах атомной энергетики в мире происходит по вине персонала. В то же время практика показала, что успешное выполнение работниками АЭС своих обязанностей, обеспечивающих безопасную работу станции, может эффективно предотвращать негативные инциденты при эксплуатации АЭС.

Повышение надежности персонала как элемента системы безопасности атомной станции, является приоритетной задачей государственного предприятия «Белорусская АЭС». Для решения этой задачи разработано и успешно реализуется Руководство по применению средств предотвращения ошибок оперативного и ремонтного персонала Белорусской АЭС. Документом предусмотрено применение основных инструментов предотвращения ошибочных действий персонала в целях формирования его правильного поведения при исполнении работ, связанных с безопасностью.



И.Ф. КУРИЛОВИЧ,  
заместитель директора  
филиала «Учебный центр  
РУП «Гродноэнерго»



В.А. ГОНЧАР,  
начальник сектора  
психологического обеспечения  
филиала «Учебный центр  
РУП «Гродноэнерго»



## ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕКЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕГО ТРЕНИНГА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Перспективным направлением современной психофизиологии является проведение тренингов с использованием метода биологической обратной связи (БОС). Особую значимость БОС-тренинги приобретают как эффективное профилактическое средство, направленное на повышение адаптационных возможностей персонала, оптимизацию психоэмоциональной сферы, обучение навыкам саморегуляции. Учебный центр РУП «Гродноэнерго» при проведении коррекционно-обучающих тренингов эмоциональной устойчивости персонала активно использует программно-аппаратный комплекс, основанный на принципе БОС.

### Общая характеристика метода

В обычных условиях человек не имеет точной количественной информации о своих физиологических показателях: частоте пульса, величине артериального давления, частоте и глубине дыхания, температуре и состоянии кожных покровов, степени мышечного напряжения и т.п. Метод БОС представляет собой современную технологию коррекции функционального состояния организма, основанную на предъявлении человеку информации о состоянии и изменениях его физиологических показателей в целях обучения сознательному управлению различными вегетативными функциями организма.

Благодаря специальному оборудованию и программному обеспечению, человек получает возможность видеть и слышать свои физиологические показатели, осознавать их изменение и целенаправленно управлять работой систем своего организма, в том числе повышать степень концентрации внимания. То есть в игровой форме работник учится воздействовать на свое актуальное психофизиологическое состояние.

БОС-тренинг не оказывает физического воздействия на человека, он активизирует и мобилизует собственные резервы организма. Метод позволяет учитывать индивидуальные особенности личности, дозированно подбирать нагрузку для тренировки и контролировать эффективность ее выполнения. Под эффективностью тренинга понимаются положительные сдвиги в общем функциональном состоянии организма, обусловленные направленным воздействием на выбранные физиологические функции.

БОС-тренинги позволяют более быстро и доступно по сравнению с другими методами приобретать навыки саморегуляции и повышать эмоциональную устойчивость человека к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

### Условия проведения и содержание тренинга

В Учебном центре БОС-тренинги проводятся в специально оборудованном кабинете с использованием программно-аппаратного комплекса «РЕАКОР-Т». Составляющими, ко-

торые обеспечивают замыкание контура БОС при проведении занятия, являются:

- участник тренинга;
- программно-аппаратный комплекс;
- специалист по психофизиологическому обеспечению.

Принцип осуществления тренинга методом БОС представлен на рисунке 1.

Участник тренинга располагается в релаксационном кресле перед монитором. На его тело устанавливаются датчики, которые считывают физиологические показатели организма. К ним относятся частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхательных циклов (ЧД), рекурсия дыхания (РД), величина дыхательной аритмии сердца (ДАС), кожно-гальваническая реакция (КГР), периферическая температура и др. Данные параметры в режиме реального времени переводятся в понятные, легко воспринимаемые изображения и звуки разных видов. Чаще всего это музыка и картинка-слайды, изменяющиеся в зависимости от правильности выполнения работником заданий по управлению своими физиологическими показателями. Опираясь на информацию,

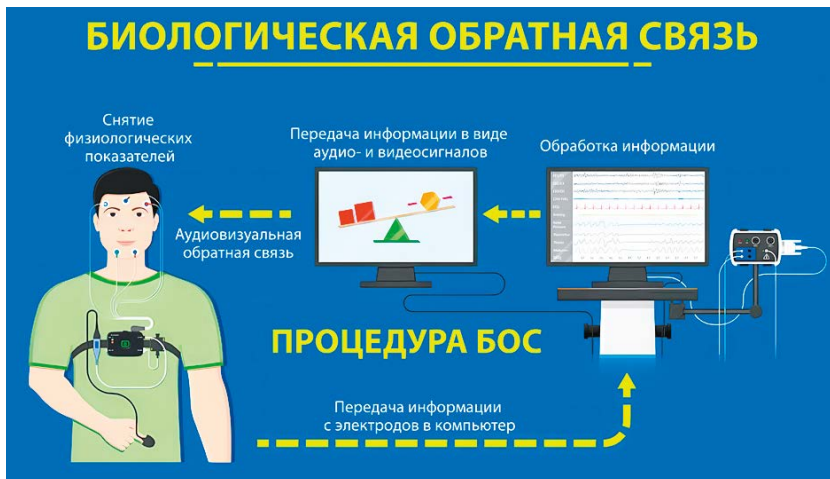


Рис. 1. Принцип работы БОС-процедуры

транслируемую компьютером, человек учится сознательно изменять эти показатели в соответствии с заданной целью, например уменьшать степень тревожности при помощи правильной постановки дыхания в сочетании с релаксацией и расфокусировкой внимания.

БОС-процедуры реализуются с помощью универсального программно-аппаратного комплекса «РЕАКОР-Т». Особенности этого психологического телеметрического устройства являются модульность и многоканальность беспроводных устройств регистрации, большой набор процедур различного назначения и удобный редактор для создания новых процедур.

Комплекс «РЕАКОР-Т» использует принцип «физиологического зеркала» и позволяет в буквальном смысле видеть и слышать тончайшие изменения состояния организма при обучении навыкам психосоматического регулирования в целях реабилитации, укрепления здоровья и совершенствования психофизиологических возможностей человека.

Для количественной оценки успешности проведенной процедуры специалист по психофизиологическому обеспечению (рис. 2) применяет комплекс средств обработки, который включает:

- просмотр сигналов, позволяющих локализовать причину некорректного расчета статистических показателей и при необходимости исключить из анализа артефактные участки;
- построение диаграмм, гистограмм, демонстрирующих динамику изменения контролируемого показателя в течение всего тренинга;

- анализ поэтапной динамики изменений, предназначенный для количественной (таблицы, файлы Excel) и визуальной (графики) оценки внутрипроцедурной эффективности этапов одной БОС-процедуры;

- анализ курсовой динамики по результатам всего реабилитационного курса.

Результативность БОС-тренинга оценивается по разнице между исходным и итоговым уровнями тренируемого параметра.

Для эффективности БОС-тренинга необходима полная включенность участника в процесс, так как активность организма обусловлена непосредственно его когнитивными способностями, мотивацией и заинтересованностью. Человек должен четко понимать и выполнять инструкции психолога, осмысленно относиться к объективно фиксируемому физиологическим изменениям организма во время процедуры. В случае, если участник тренинга явно или подспудно не хочет выполнять по-

ставленную перед ним задачу, тренинг не будет продуктивным.

Процесс тренинга включает **10 этапов**:

- 1) объяснение общей идеи БОС-процедуры;
- 2) оценка эмоционального состояния (уровня реактивной и личностной тревожности по шкале Спилберга – Ханина) на устройстве психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» по тесту-опроснику «ШТС»;
- 3) оценка динамики показателей АД и ЧСС;
- 4) подготовка к проведению процедуры (человек занимает удобное положение в кресле, электроды обычно накладываются на область предплечья, монитор располагается примерно в 80–100 см от лица);
- 5) описание сценария процедуры и общая инструкция по расслаблению;
- 6) регистрация исходных физиологических показателей;
- 7) включение видеоряда с визуаль-но-акустическим сигналом;
- 8) проведение процедуры аппаратной тренировки;
- 9) регистрация функционального состояния после тренинга;
- 10) обсуждение достигнутых результатов, поэтапной динамики и закрепление навыка в реальной жизнедеятельности.

## Виды БОС-тренингов

В Учебном центре проводятся такие виды коррекционно-обучающих тренингов с использованием технологии БОС, как тренинг по частоте сер-

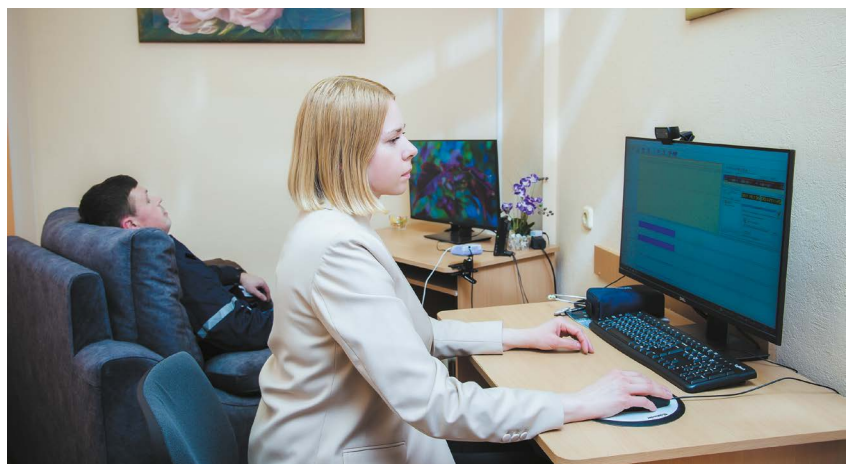


Рис. 2. Специалист по психофизиологическому обеспечению филиала «Учебный центр РУП «Гродноэнерго» М.Н. Вакер проводит БОС-тренинг

дечных сокращений, дыхательный тренинг, температурный и электромиографический тренинги, тренинг по кожно-гальванической реакции и кожной проводимости. Охарактеризуем некоторые из них.

**Тренинг по частоте сердечных сокращений** направлен на развитие навыков саморегуляции и формирование эмоциональной устойчивости через управление ЧСС. Существуют научные данные, что практически любой здоровый человек при наличии объективной информации о текущей ЧСС может целенаправленно повышать или снижать ее в некоторых пределах. При этом среднее значение произвольного повышения частоты пульса для нетренированного человека составляет 8–12 ударов в минуту, а произвольного снижения – 3–5 ударов.

Целевой аудиторией для проведения данного тренинга является персонал со сниженным уровнем функциональных и адаптационных возможностей организма (отклонение от нормы уровня АД и ЧСС, дисфункция вегетативной нервной системы). В тренинг входят БОС-процедуры, представленные в таблице 1.

Основной предпосылкой успешного решения задачи коррекционно-развивающего тренинга, направленного на снижение ЧСС, является его проведение на фоне максимальной мышечной релаксации. Тренинг рассчитан на 5–8 занятий.

**Дыхательный тренинг** направлен на развитие навыков саморегуляции, повышение устойчивости к стрессогенным факторам через нормализацию дыхательного цикла. Известно, что любая стрессовая реакция сопровождается усилением дыхания. Управление дыханием – один из эффективных способов психической и физиологической саморегуляции. Правильное использование ритма дыхания позволяет полнее и быстрее овладеть навыками мышечной релаксации.

Целевой аудиторией для проведения тренинга является персонал со сниженным уровнем функциональных и адаптационных возможностей (повышенное состояние тревоги, психоэмоциональное напряжение), а также работники, имеющие никотиновую зависимость либо перенесшие коронавирусную инфекцию. В дыхательный

**Таблица 1. БОС-процедуры, входящие в состав тренинга по частоте сердечных сокращений**

Блок тренинга	Наименование БОС-процедуры	Цель занятия
Ознакомление	Вводная процедура	Ознакомление с основными приемами управления сердечным ритмом
Обучение	Увеличение variability сердечного ритма	Активация адаптационно-приспособительных механизмов и формирование диафрагмально-релаксационного типа дыхания
Закрепление	Снижение ЧСС	Нормализация вегетативного баланса за счет повышения активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Закрепление навыка диафрагмально-релаксационного типа дыхания

**Таблица 2. БОС-процедуры, входящие в состав дыхательного тренинга**

Блок тренинга	Наименование БОС-процедуры	Цель занятия
Базовая процедура	Урежение дыхания	Формирование стереотипа дыхания с низкой частотой
	Увеличение задержки на выдохе	Формирование стереотипа дыхания с увеличенной длительностью фазы задержки на выдохе
Обучение	Глубина дыхания	Повышение тонуса ослабленных дыхательных мышц, преимущественно в диафрагмальной области
	Диафрагмальное дыхание	Коррекция дыхательного стереотипа путем увеличения амплитуды диафрагмального дыхания
	Диафрагмально-релаксационное дыхание	Обучение навыку релаксации на основе формирования диафрагмально-релаксационного паттерна дыхания на фоне мышечного расслабления
Закрепление	Урежение дыхания на фоне мышечного расслабления	Закрепление навыка релаксации и снижения темпа дыхания на фоне мышечного расслабления

тренинг входят БОС-процедуры, представленные в таблице 2.

Одновременное обучение замедлению дыхательных циклов и диафрагмальному дыханию положительно сказывается на психологическом статусе человека – снижается уровень напряжения и тревожно-депрессивных проявлений в структуре личности. Данный тренинг рассчитан на 7–8 занятий.

После прохождения тренингов участники приобретают навык сознательного управления своими физиологическими параметрами и улучшения функционального состояния.

## Заключение

В целом в 2023 году в Учебном центре проведен 141 аппаратный психофизиологический тренинг эмоциональной устойчивости с биологической

обратной связью на программном комплексе «РЕАКОР-Т». В текущем году планируется проведение как минимум 200 таких тренингов.

Применение технологии БОС в психологической подготовке персонала энергопредприятий актуально по нескольким причинам. Во-первых, навыки, приобретенные в процессе коррекционно-обучающих тренингов эмоциональной устойчивости методом БОС, могут быть реализованы работниками в различных ситуациях, в любое время и без помощи психолога.

Во-вторых, этот современный метод немедикаментозной коррекции функциональных нарушений и неблагоприятных эмоциональных состояний способствует повышению стрессоустойчивости и развитию самоконтроля, что важно для достижения максимальных производственных результатов.

В.И. ПОЛЯКОВ,  
к.х.н., доцент  
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»



О.Е. ПОЛЯКОВА,  
старший  
преподаватель БНТУ



А.Г. РАДОВНЯ,  
начальник  
управления систем  
газоснабжения  
ГПО «Белтопгаз»



## ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ К СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Рациональное и безопасное использование газа связано с контролем за работой газового оборудования посредством различных по устройству и принципу действия контрольно-измерительных приборов (КИП) и автоматики. С их помощью в процессе сжигания газа контролируют его давление, разрежение, наличие факела, регулируют состав газозоудушной смеси и т.д. При этом сами КИП, большую часть которых составляют различные средства измерений, должны регулярно поверяться, проходить техническое обслуживание и проверку на соответствие требованиям промышленной безопасности.

### Нормативное регулирование

Средства измерений (СИ), системы автоматизации и сигнализации, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), применяемые на объектах газораспределительной системы и газопотребления, относятся к области распространения **Правил по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения**, утвержденных постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 05.12.2022 № 66 (далее – Правила).

Данным устройствам также уделено должное внимание в **Программе комплексной модернизации производств газовой сферы на 2021–2025 годы**, утвержденной постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 31.12.2020 № 48. Программа направлена

на дальнейшее обеспечение надежности и безопасности газоснабжения потребителей, управляемости газораспределительной системы в том числе за счет мероприятий по модернизации (реконструкции, замене, установке) контрольно-измерительного оборудования на объектах ГПО «Белтопгаз».

Правовые и организационные основы обеспечения единства измерений определяет **Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений»** от 05.09.1995 № 3848-XII (далее – Закон).

Так, в статье 1 Закона установлены следующие термины и их определения:

- **единство измерений** – «состояние измерений, при котором результаты этих измерений выражены в допущенных к применению в Республике Беларусь единицах величин, обеспечена метрологическая прослеживаемость,

### К СВЕДЕНИЮ:

В 2023 году в рамках Программы комплексной модернизации производств газовой сферы на 2021–2025 годы существенно обновлена база контрольно-измерительных приборов и автоматики, в том числе:

- выполнены реконструкция, модернизация и замена 333 систем телеметрии ГРП/ШРП (320,2 % от годового плана);
- заменены 120 средств электрохимической защиты (ЭХЗ) и узлов учета газа (УУГ) (126,3 %);
- системой телеметрии (телемеханики) оснащены 393 контрольно-измерительных пункта, УУГ и отключающих устройства (102,6 %);
- получили развитие и модернизированы каналы связи и сетей передачи данных, системы телеметрического контроля диспетчерских пунктов на 8 объектах (114,3 %);
- приобретены 6382 единицы современных высокоэффективных приборов и оборудования (127,2 %);
- внедрены (модernизированы) системы диспетчерского управления объектами, модернизирована ИТ-инфраструктура на 34 объектах (113,3 %);
- зоны защиты установки ЭХЗ оснащены системой «Интеллектуальный КИП», установлены пункты контроля давления и скорости потока газа в количестве 739 единиц (100 %);
- внедрены системы автоматизации обращений клиентов на 5 объектах (100 %).

а показатели точности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью»;

- *обеспечение единства измерений* – «деятельность, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с требованиями законодательства об обеспечении единства измерений, международными договорами Республики Беларусь, а также правом Евразийского экономического союза»;

- *средство измерений* – «техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее метрологические характеристики, значения которых принимаются неизменными в течение определенного времени»;

- *поверка средств измерений* – «проведение работ по метрологической оценке, в ходе которых подтверждается соответствие средства измерений обязательным метрологическим требованиям».

Наряду со статьей 1 Закона термины и их определения в рассматриваемой области устанавливаются **Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения»**, введенные в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь (далее – Госстандарт) от 20.12.2018 № 70, а также **Протокол о проведении согласованной политики в области обеспечения единства измерений** (приложение № 10 к Договору о Евразийском экономическом союзе от 29.05.2014).

Следует отметить, что согласно статье 5 Закона сфера законодательной метрологии распространяется на измерения, выполняемые при обеспечении промышленной безопасности, безопасности перевозки опасных грузов, пожарной, ядерной и радиационной безопасности, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

### Государственная поверка средств измерений

Порядок организации государственной поверки СИ (далее – поверка) утвержден **Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26.07.2016 № 89** (далее – Решение № 89).

Выделяют первичную и последующие поверки. *Первичная поверка* проводится при выпуске СИ из производства, при вводе его в эксплуатацию (если не проводилась при выпуске из производства) и после ремонта. *Последующие поверки* проводятся при условии проведения первичной и подразделяются на периодические, внеочередные, проводимые после ремонта, а также при повреждении знаков поверки или пломб для защиты от несанкционированного доступа к местам настройки СИ, в том числе программного обеспечения.

Периодическая поверка проводится в отношении СИ, находящихся в эксплуатации, через межповерочный интервал, указанный в сертификате об утверждении типа СИ (пп. 7–10 Решения № 89).

При установлении в результате поверки соответствия СИ обязательным метрологическим требованиям на него уполномоченной организацией наносится знак поверки (далее – знак) и/или оформляется свидетельство по форме согласно приложению к Решению № 89. Знаки могут также

### СПРАВОЧНО:

*Тип средств измерений – совокупность СИ одного и того же назначения, основанных на одном принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации. СИ одного типа могут иметь различные модификации, например, отличаться по диапазону измерений (п. 6.20 РМГ 29-2013).*

*Сведения о СИ, в отношении которых приняты решения об утверждении типа СИ, и о выданных сертификатах об утверждении типа СИ содержатся в Государственном реестре средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь (<https://oei.by>).*

наноситься на СИ в местах, указанных в описании его типа, для защиты от несанкционированного доступа к местам настройки СИ, в том числе программного обеспечения (п. 15 Решения № 89).

Порядок применения знаков определяет **Положение о применении знаков поверки средств измерений и калибровки средств измерений**, утвержденное постановлением Госстандарта от 27.11.2020 № 90 (далее – Положение).

Знак представляет собой оттиск, наклейку или иным способом изготовленное условное изображение по формам согласно приложениям 1–3 к Положению. Он наносится непосредственно на СИ или при отсутствии такой возможности – на его эксплуатационную документацию, в том числе на свидетельство о поверке. Способы нанесения знака могут быть следующие: оттиск; ударный способ; давление на пломбу или специальную мастику; наклеивание. Знак должен иметь четкое изображение, сохраняющееся в условиях эксплуатации СИ.

Знак, который наносится способом наклеивания, представляет собой голограмму или полимерную пленку круглой формы на самоклеящейся основе. Такой знак должен быть стойким к внешним воздействиям. Для нанесения он освобождается от подложки и наклеивается на СИ. При снятии знак в виде наклейки должен прийти в состояние, непригодное для дальнейшего применения.

Непосредственно на СИ, тип которого утвержден, знак наносится в местах, указанных в описании типа, а на СИ, тип которого не проходил утверждение, – в местах, доступных для осмотра без применения спецсредств.

Знак по формам, установленным в приложениях 1–3 к Положению, наносится непосредственно государственным поверителем на СИ, относящееся к категориям, представляющим совокупность СИ одинакового назначения, применяемых при измерениях в сфере законодательной метрологии, экземпляры утвержденного типа которых подлежат государственной поверке (далее – СИ, применяемые в сфере законодательной метрологии) (пп. 4–10 Положения).

На таком знаке должны быть указаны:

- месяц или квартал года осуществления поверки;
- год осуществления поверки – в случае, когда знак наносится на СИ по форме согласно приложению 2 и отсутствует возможность нанесения знака иной формы, а также

**Периодичность поверки некоторых категорий СИ, применяемых на объектах газораспределительной системы и газопотребления**

№ п/п	Категория средств измерений	Периодичность государственной поверки, не более, месяцев
<b>3</b>	<b>Средства измерений давления и вакуума:</b>	
3.1	барометры	12
3.4	манометры	12
3.5	преобразователи давления	36
<b>5</b>	<b>Средства измерений расхода, количества (массы, объема), уровня и параметров потока жидкостей и газов:</b>	
5.2	вычислители (корректоры) объема газа	24
5.4	измерители скорости потока жидкости и газов	24
5.12	расходомеры, расходомеры-счетчики и системы (комплексы) измерения расхода, количества	48
5.13	системы и средства измерений уровня жидкости и сыпучих материалов	36
5.19	приборы учета расхода газа индивидуальные	120
5.20	приборы учета расхода газа промышленные	24
5.25	ротаметры	12
<b>6</b>	<b>Средства измерений физико-химических величин:</b>	
6.10	измерители содержания компонентов в газовых средах	6
<b>7</b>	<b>Средства измерений температуры и теплофизических величин:</b>	
7.7	измерители-регистраторы температуры	12
7.8	термометры манометрические	24
7.9	термометры биметаллические	12
7.10	термометры стеклянные ртутные лабораторные	36
7.11	термометры стеклянные жидкостные	24
7.12	термометры электроконтактные	12
7.13	термопреобразователи сопротивления, в том числе с унифицированным выходным сигналом	24
7.14	термоэлектрические преобразователи, в том числе с унифицированным выходным сигналом	12
7.15	термометры электронные	12
7.16	термометры инфракрасные	12

в случае нанесения знака методом оттиска на свидетельстве о поверке.

При нанесении знака по форме, указанной в приложении 3, отмечается месяц поверки способом, исключающим его корректировку. Нанесение двух и более знаков в виде наклеек под одинаковым шифром и порядковым номером не допускается (пп. 12, 14 Положения).

Перечень категорий СИ, применяемых в сфере законодательной метрологии, с установленной периодичностью поверки приведен в приложении к постановлению Госстандарта от 20.04.2021 № 39. Извлечения из него для некоторых категорий СИ, применяемых на объектах газораспределительной системы и газопотребления, приводятся в таблице.

**Требования промышленной безопасности к средствам измерений**

Требования к СИ установлены в главе 6 Правил.

Эксплуатирующая организация должна обеспечить контроль за исправностью и работоспособностью СИ, используемых на объектах газораспределительной системы и газопотребления.

Периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту СИ устанавливается графиком, утвержденным руководителем (техническим руководителем) эксплуатирующей организации, но не реже, чем указано в эксплуатационной документации изготовителей.

ТО СИ и систем автоматики безопасности должно проводиться совместно с ТО газопроводов, газоиспользующего и электрооборудования.

Обслуживающему персоналу не разрешается вскрывать СИ, за исключением случаев, предусмотренных эксплуатационными документами изготовителя.

Не допускается эксплуатация СИ, не имеющих свидетельства о государственной поверке, поврежденных и нуждающихся в ремонте и поверке, с истекшим сроком поверки. Указанное требование распространяется на все СИ, используемые в целях реализации Правил.

ТО СИ включает внешний осмотр, проверку герметичности и крепления импульсных линий, исправности электропроводки и других коммуникаций, сохранности пломб (при их наличии), выявление отказов, возникающих при эксплуатации, смазку механизмов движения. В ТО также входит представление СИ в процессе эксплуатации на поверку.

**Требования к манометрам.** Не допускаются к применению манометры, у которых:

- истек срок поверки;
- отсутствует свидетельство о поверке и (или) нанесенный на СИ соответствующий знак;
- разбито стекло или есть другие повреждения, которые могут отразиться на правильности показаний;
- стрелка при отключении не возвращается к нулевому делению шкалы или уходит за него на величину, превышающую предел допускаемой основной абсолютной погрешности для данного СИ (если иное не предусмотрено эксплуатационной документацией изготовителя).

Исправность и правильность показаний манометров путем кратковременного отключения и возвращения показаний к контрольному значению должны проверяться

при осуществлении метрологического надзора, а также не реже одного раза:

- в смену – на ГНС, ГНП, АГЗС, АГНКС, объектах газопотребления;
- в 15 дней – в ГРП, ГРУ;
- в 3 месяца – в ГРП, ШРП, на резервуарных и групповых баллонных установках СУГ, оборудованных средствами телемеханизации и АСУ ТП;
- в месяц – в ШРП, на резервуарных и групповых баллонных установках СУГ, объектах газопотребления, работающих без обслуживающего персонала.

Манометры, устанавливаемые на оборудовании и газопроводах, должны иметь шкалу, во второй трети которой находится значение, соответствующее предельному рабочему давлению.

На циферблате или корпусе показывающих манометров должно быть красной краской отмечено значение, соответствующее максимальному рабочему давлению. Нанесение такой отметки на стекло манометра не допускается. Взамен красной черты разрешается прикреплять к корпусу манометра пластину (из металла или иного материала достаточной прочности), окрашенную в красный цвет и плотно прилегающую к стеклу манометра, либо указатель предельного давления (скобу).

**Требования к газоанализаторам и сигнализаторам.**

Стационарные газоанализаторы и сигнализаторы должны периодически проходить проверку контрольными смесями на срабатывание при концентрации газа 10 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) в помещении, 20 % от НКПР – вне помещения в соответствии с эксплуатационной документацией изготовителей.

При ТО средств телемеханизации и АСУ ТП, в частности, проверяют:

- параметры срабатывания устройств защит, блокировок и сигнализации систем контроля загазованности, датчиков положения дверей, исполнительных механизмов;
- соответствие показаний контролируемых параметров технологических процессов, отображаемых на пульте управления АДС, показаниям СИ (стационарных или переносных), установленных на объекте газораспределительной системы.

Ремонт СИ, систем автоматизации и сигнализации должен осуществляться одновременно с ремонтом основных технических средств. СИ, выведенные в ремонт или на государственную поверку, заменяются на идентичные по условиям эксплуатации.

При выходе из строя сигнализатора загазованности его необходимо заменить резервным. В период замены контроль концентрации газов в помещениях должен осуществляться переносными газоанализаторами за 15 минут до начала рабочей смены и через каждые 30 минут – в течение смены.

**Требования к системам учета расхода газа и выбору КИП**

Требования к системам учета расхода газа установлены в разделе 12 **строительных норм СН 4.03.01-2019 «Газораспределение и газопотребление»**, утвержденных

постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 26.12.2019 № 74 (далее – СН 4.03.01).

СИ, применяемые в системе учета расхода газа, должны обеспечивать измерение объема газа, приведенного к нормальным условиям, в диапазоне от минимального до максимального значения измеряемого объема с суммарной относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 1,5\%$ . Для внутрипроизводственного (поагрегатного) учета расхода газа могут применяться СИ с классом точности на одну ступень ниже. Для учета расхода газа у бытовых потребителей погрешность СИ не должна превышать  $\pm 3\%$  (п. 12.5 СН 4.03.01).

Выбор КИП производят в соответствии со следующими основными положениями:

- параметры, наблюдение за которыми необходимо для правильного ведения установленных режимов эксплуатации, контролируют с помощью показывающих приборов;
- параметры, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования, контролируют с помощью показывающих, регистрирующих и сигнализирующих приборов (регистрирующие приборы разрешается не предусматривать при наличии защиты – предохранительных устройств по контролируемым параметрам);
- параметры, учет которых необходим для систематического анализа работы оборудования или хозяйственных расчетов, контролируют с помощью регистрирующих или интегрирующих приборов (п. 16.6.18 СН 4.03.01).

При выборе КИП для ГРП (ГРУ) руководствуются следующими требованиями:

- КИП с электрическим выходным сигналом и электрооборудование, размещаемые в помещении ГРП со взрывоопасными зонами, должны быть во взрывозащищенном исполнении;
- КИП с электрическим выходным сигналом в нормальном исполнении размещаются снаружи вне взрывоопасной зоны в закрывающемся шкафу (ящике) из негорючих материалов или в обособленном помещении, пристроенном к противопожарной газонепроницаемой (в пределах примыкания) стене ГРП;
- ввод импульсных газопроводов в обособленное помещение выполняется через разделительные устройства, конструкция которых исключает попадание газа в помещение КИП;
- в местах прохода импульсных газопроводов через стену, отделяющую помещение КИП, предусматривают сальниковые или другие уплотнители, исключающие проникновение газа (п. 8.4.9 СН 4.03.01).

Класс точности КИП следует принимать в зависимости от их конкретного назначения и условий эксплуатации объекта, но не ниже класса 2,5 (п. 16.6.20 СН 4.03.01).

Обновление основных средств газоснабжающих организаций и активное внедрение контрольно-измерительных систем в газовой отрасли требует повышенного внимания к соблюдению требований промышленной безопасности в отношении средств измерения и единства измерений, что, в свою очередь, будет способствовать повышению надежности, безопасности и управляемости газораспределительной системы.

Н.П. ПАШКОВИЧ,  
начальник управления  
релейной защиты и автоматики  
ГПО «Белэнерго»



А.Н. МЕШКОВА,  
инженер управления релейной  
защиты и автоматики  
ГПО «Белэнерго»



## ВВЕДЕНЫ НОВЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ РЗА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ 110–750 кВ

Комментарии к стандарту ГПО «Белэнерго» СТП 33240.35.677-24

С 1 февраля вступил в силу СТП 33240.35.677-24 «Релейная защита и автоматика. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ», утвержденный приказом ГПО «Белэнерго» от 24.01.2024 № 24. Документ введен взамен СТП 09110.35.677-07 «Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ».

Пересмотр СТП 09110.35.677-07 был вызван необходимостью разработки новых требований в связи с изменением состава оборудования релейной защиты и автоматики (РЗА), работающего в ОЭС Беларуси, вводом в эксплуатацию энергообъектов, спроектированных с применением технологии «цифровая подстанция», а также усовершенствованием процесса технического обслуживания (ТО), в том числе появлением новых видов ТО устройств РЗА.

Новый стандарт устанавливает правила ТО устройств РЗА, высокочастотных каналов релейной защиты, вторичных цепей, трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН) электростанций и подстанций 110–750 кВ ГПО «Белэнерго».

Структурно СТП 33240.35.677-24 состоит из двенадцати разделов и четырех приложений. В разделах 1–4 определена область применения стандарта, приведены нормативные ссылки, термины и определения, обозначения и сокращения. В разделе 5 отражены общие положения касательно проведения ТО устройств и аппаратуры РЗА с использованием разработанных методик проверок и испытаний, а также указаний заводов-изготовителей.

В разделе 6 изложена система ТО устройств РЗА, описаны периоды эксплуатации (приработка, нормальная эксплуатация, деградация) и их связь с потоками отказов – вероятным количеством отказов в единицу времени. Определены следующие виды ТО устройств РЗА:

- **периодическое ТО.** Проводится с целью предотвращения отказов устройств РЗА. Предусматривает проверку при новом включении (наладке), первый и проводимый в дальнейшем профилактический контроль, профилактическое восстановление (ремонт), ТО для продления срока службы, технический и тестовый контроль, опробование и технический осмотр;
- **ТО в зависимости от состояния.** Применяется только для микропроцессорных (МП) устройств РЗА.

Основывается на автоматизированном сборе, мониторинге и анализе информации, получаемой от МП устройств РЗА, при наличии на энергообъекте системы технологической локальной вычислительной сети и АСУ ТП, которые контролируют правильность работы элементов систем РЗА. В случае выявления отклонений разрабатываются и реализуются меры по их устранению, в том числе путем проведения внеочередной проверки;

- **внеплановое ТО,** в том числе внеочередная проверка (проводится в случае неисправности устройств РЗА, изменения схем, уставок, характеристик реле и устройств, конфигурации, параметрирования МП терминала РЗА и т.д.) и послеаварийная проверка (проводится для выяснения и устранения причин неправильного срабатывания устройств РЗА).

Стандарт определяет периодичность ТО устройств РЗА. В зависимости от их типа, ресурсов всех элементов, обеспечивающих надежную работу устройств, и условий эксплуатации (воздействия различных факторов внешней среды) цикл ТО устанавливается от трех до восьми лет (раздел 7). Под циклом ТО понимается период эксплуатации между двумя ближайшими профилактическими восстановлениями, в течение которого выполняются в определенной последовательности виды ТО, предусмотренные разделом 6.

В разделе 8 приведены программы работ при плановом ТО электромеханических (ЭМ) и микроэлектронных (МЭ) устройств РЗА. Программы являются общими для всех ЭМ и МЭ устройств РЗА электростанций и подстанций 110–750 кВ и определяют последовательность и объемы работ (раздел 10) при обслуживании этих устройств.

В разделе 9 определены программы работ при плановом ТО МП устройств РЗА, общие для всех устройств РЗА электростанций и подстанций 110–750 кВ, и порядок мониторинга состояния МП устройств РЗА.

Для типовых панелей на ЭМ и МЭ базе разработаны специальные программы, а также определен объем проверок при периодическом ТО (приведен в справочном приложении Б). Для МП устройств РЗА ввиду большого разнообразия их типов и требований изготовителей в стандарте приведен обобщенный объем работ при плановом ТО таких устройств (рекомендуемое приложение Г).

Общие требования к внеплановому ТО определяют, что объем работ, выполняемых при внеочередной проверке, должен обеспечивать полноценную проверку всех изменений. В каждом конкретном случае он определяется программой ТО. Послеаварийные проверки выполняются по разовым программам ТО, разрабатываемым для каждого конкретного случая (раздел 11).

В разделе 12 определены объем работ и особенности проведения ТО устройств РЗА цифровых подстанций (ЦПС). Стандартом предусмотрено, что на ЦПС все процессы информационного обмена, необходимые для выполнения основных функций управления технологическим процессом (защиты, управления, учета, связи и т.д.), осуществляются

в цифровом виде с использованием протоколов стандарта МЭК 61850 и соответствующей аппаратуры.

Наряду с цифровыми устройствами на ЦПС могут использоваться и электромагнитные ТТ и ТН. Это определяет особенности проведения ТО устройств РЗА, управления, сигнализации, высокочастотных каналов релейной защиты, вторичных цепей, ТТ и ТН.

Техническое обслуживание МП цифровых устройств, участвующих в сборе аналоговой и дискретной информации, ее обработке, преобразовании, передаче цифровых данных, организации информационных потоков, а также цифровых ТТ, ТН, ВОЛС должно проводиться в соответствии с указаниями завода-изготовителя в объеме, рекомендованном в приложении Г.

Стандарт также содержит рекомендации по организации системы мониторинга МП устройств РЗА и форму акта для продления срока службы устройства (рекомендуемые приложения А и Г соответственно).

В ходе пересмотра стандарта были учтены замечания и предложения организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго».

## Предприятия отрасли стали победителями конкурса «Лидеры промышленности Республики Беларусь – 2024»



ЛИДЕРЫ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
РЕСПУБЛИКИ  
БЕЛАРУСЬ  
2024

29 мая состоялась церемония награждения победителей Второго республиканского конкурса «Лидеры промышленности Республики Беларусь». За достижения в области промышленных технологий и менеджмента высшей награды удостоено государственное предприятие «Белорусская АЭС» в номинации «Проект года по запуску нового производства» (диплом I степени в категории «Энергетика»).

В число победителей конкурса также вошли организации ГПО «Белтопгаз»:

- РУП «Белгазтехника» – диплом II степени в номинации «Предприятие года – лидер в области импортозамещения»;
- СХП «Мазоловогаз» УП «Витебскоблгаз» – диплом III степени в номинации «Проект года по запуску нового производства» за проект «Завод по производству экструдированного зерна»;
- УП «МИНГАЗ» – диплом II степени в номинации «Проект года по модернизации производства» за проект «Техническая модернизация отделения по наплавке и восстановлению матричного инструмента в филиале «Торфобрикетный завод «Сергеевичское»»;
- ПУ «Витебскторф» УП «Витебскоблгаз» – диплом I степени в номинации «Продукт года» в категории «Востребованность у потребителей» за грунты торфяные питательные «Двина»;
- УП «Брестоблгаз» – диплом I степени в номинации «Продукт года» в категориях «Востребованность у потребителей» и «Импортозамещение» за покровные грунты для выращивания шампиньонов.

*Поздравляем!*

## Законы Республики Беларусь

Закон Республики Беларусь от 21.05.2024 № 2-3

«О ратификации Протокола о внесении изменений в Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в строительстве на территории Республики Беларусь атомной электростанции от 15 марта 2011 года»

Ратифицирован Протокол о внесении изменений в Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в строительстве на территории Республики Беларусь атомной электростанции от 15 марта 2011 года, подписанный в г. Минске 2 ноября 2023 года.

Согласно Протоколу, установленный Соглашением двухлетний гарантийный срок эксплуатации оборудования БелАЭС может быть продлен на больший период. Для отдельного оборудования может быть установлен более длительный гарантийный срок эксплуатации. Кроме того, порядок формирования цены на ядерное топливо и условия его поставки будут согласовываться компетентными органами сторон.

Совету Министров Беларуси поручено в шестимесячный срок принять меры, необходимые для приведения законодательства в соответствие с положениями протокола, указанного в статье 1 настоящего Закона.

## Указы Президента Республики Беларусь

Указ Президента Республики Беларусь от 30.04.2024 № 182

«Об изменении указов Президента Республики Беларусь»

Внесены изменения в указы Президента Республики Беларусь:

– от 30.12.2013 № 583 «О реорганизации государственного учреждения «Дирекция строительства атомной электростанции», в том числе уточнено, что льгота по земельному налогу, предоставленная РУП «Белорусская атомная электростанция» по 31.12.2042, действует независимо от положений п. 21 ст. 239 НК;

– от 21.10.2019 № 389 «О налоге на добавленную стоимость». Уточнено, что исполнение налогового обязательства по уплате НДС, взимаемого налоговыми органами при ввозе на территорию Республики Беларусь товаров в целях выполнения генконтракта на сооружение Белорусской АЭС от 18.07.2012, оплата которых производится с использованием государственного экспортного кредита, осуществляется АО «АСЭ» (Россия) либо его правопреемником за счет средств такого кредита для целей применения АО «АСЭ» нулевой ставки НДС при экспорте этих товаров в Республику Беларусь;

– от 26.01.2021 № 32 «О фондах Белорусской атомной электростанции», в том числе в части направлений использования фонда вывода из эксплуатации АЭС и фонда безопасности АЭС.

Указ вступил в силу с 30 апреля 2024 года, отдельные положения – с 2 мая 2024 года.

## Постановления Совета Министров Республики Беларусь

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 01.04.2024 № 239

«Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2012 г. № 195 и от 17 октября 2014 г. № 992»

Постановлением изменены требования к разработке проектной документации при строительстве объектов, финансируемых за счет бюджетных и приравненных к ним средств. Изменения коснулись постановлений:

– от 01.03.2012 № 195 «О некоторых мерах по повышению требований к проектной документации в части снижения материал-, энерго- и импортоемкости проектных решений»;

– от 17.10.2014 № 992 «О Республиканской комиссии по рассмотрению вопросов обоснованности стоимости возведения, реконструкции и реставрации объектов строительства, импортозамещения строительных материалов, изделий, конструкций и оборудования».

Постановление вступает в силу поэтапно: с 4 апреля и с 23 июля 2024 года.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь 23.05.2024 № 361

«Об изменении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 14 февраля 2022 г. № 80»

Постановлением внесены изменения в постановление Правительства от 14.02.2022 № 80 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Республики Беларусь».

Документом скорректированы требования к промышленной продукции, предъявляемые в целях ее отнесения к продукции, произведенной на территории Республики Беларусь (расширен перечень продукции с установлением дополнительных критериев). В частности, пересмотрены требования к продукции в разделах «Станки, машины, части и принадлежности», «Продукция отрасли специального машиностроения», «Продукция энергетического машиностроения, электротехнической и кабельной промышленности», «Продукция приборостроительной отрасли». Кроме того, документ дополнен разделом «Продукция радиоэлектроники».

Правовой акт направлен на стимулирование отечественных производителей к увеличению локализации действующих производств, более эффективной работе в рамках реализуемой программы по импортозамещению.

Постановление вступило в силу после его официального опубликования.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.05.2024 № 365

«Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь»

Постановлением внесены изменения в ряд постановлений Правительства по вопросам природопользования.

В частности, скорректировано постановление от 24.06.2011 № 836 «Об утверждении Положения о порядке ведения

государственного кадастра возобновляемых источников энергии и использования его данных, Положения о порядке подтверждения происхождения энергии, производимой из возобновляемых источников энергии, и выдачи сертификата о подтверждении происхождения энергии и о внесении дополнений в некоторые постановления Совета Министров Республики Беларусь».

Изложено в новой редакции Положение о порядке ведения государственного кадастра ВИЭ и использования его данных. Согласно Положению кадастр является государственным информационным ресурсом, который ведет Минприроды. В рамках работы по его формированию осуществляются в том числе:

- сбор данных о площадках фактического и возможного размещения установок;
- аналитическая обработка данных об оценке величины выработки энергии для каждого вида ВИЭ, эффективности их использования;
- анализ энергетического потенциала административно-территориальных единиц Республики Беларусь и (или) площадок возможного размещения установок;
- анализ и прогнозирование сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух, экономии условного топлива при замещении углеводородного топлива ВИЭ.

Также корректируется Положение о порядке подтверждения происхождения энергии, производимой из возобновляемых источников энергии, и выдачи сертификата о подтверждении происхождения энергии в части совершенствования порядка представления заявителем документов в Минприроды для получения данного сертификата, установления бессрочного срока его действия, внесения в него изменений и др.

Правовым актом установлено, что сертификаты о подтверждении происхождения энергии, выданные Минприроды до вступления в силу постановления № 365, действительны и сроком действия не ограничиваются.

Постановление вступило в силу с 9 июня 2024 года.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29.05.2024 № 392

[«Об одобрении проектов международной технической помощи»](#)

Одобрены на основании предложений Комиссии по вопросам международного технического сотрудничества при Совете Министров Республики Беларусь следующие проекты международной технической помощи:

- «Совершенствование национальной инфраструктуры радиационного мониторинга и системы аварийного реагирования»;
- «Укрепление инфраструктуры регулирования в области ядерной и радиационной безопасности на начальном этапе эксплуатации атомной электростанции».

Постановление вступило в силу с 29 мая 2024 года.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29.05.2024 № 393

[«О Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла \(циркулярной экономики\) Республики Беларусь на период до 2035 года»](#)

Согласно утвержденной Стратегии экономика замкнутого цикла (циркулярная экономика) направлена на обеспечение экономического роста за счет перехода от источника к регенеративному использованию природных ресурсов, а также модернизации производств и внедрения инновационных технологий, оптимизации использования существующих активов, фондов, запасов и материалов.

В качестве приоритетных направлений развития циркулярной экономики в Беларуси выделены: экодизайн; ресурсоэффективное производство; промышленный симбиоз (создание инновационно-промышленных кластеров и технологических платформ); сфера упаковки; шеринговая экономика (предоставление краткосрочной аренды или оказания услуг).

Стратегия является одним из механизмов реализации Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года.

Постановление вступило в силу с 7 июня 2024 года.

### Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 06.02.2024 № 4

[«Об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности»](#)

Постановлением утверждены нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с ядерным материалом. Требования к учету и контролю ядерного материала и обеспечению функционирования государственной системы гарантий».

Они устанавливают требования к безопасному использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения, в том числе к деятельности эксплуатирующих организаций и организаций по обращению с ядерными материалами по учету и контролю ядерного материала и функционированию государственной системы гарантий.

В частности, регламентированы требования к процедурам и методам учета и контроля ядерного материала, к проведению физической инвентаризации, в том числе внеплановой, к системе измерений ядерных материалов, их проведению и качеству, к порядку ведения учетных документов и др.

Постановление вступило в силу с 30 апреля 2024 года.

Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 23.04.2024 № 32

[«Об изменении постановления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 7 февраля 2022 г. № 16»](#)

Внесены уточнения в регламенты административных процедур, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования, утвержденные постановлением МЧС от 07.02.2022 № 16:

- «Получение пропуска на вывоз имущества, земли, полезных ископаемых, других материальных ценностей (за исключением образцов, отбираемых для научных целей при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в соответствии с законодательством), находящихся на территориях зоны эвакуации (отчуждения), зоны первоочередного отселения и зоны последующего отселения, с которых отселено население и на которых установлен контрольно-пропускной режим»;

- «Получение пропуска для въезда, пребывания на территориях зоны эвакуации (отчуждения), зоны первоочередного отселения и зоны последующего отселения, с которых отселено население и на которых установлен контрольно-пропускной режим»;

- «Получение разрешения на захоронение радиоактивных отходов, образовавшихся в связи с катастрофой на Чернобыльской АЭС, а также иных отходов, продуктов, материалов и других веществ, загрязненных радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС».

ниже уровня, установленного нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами, для радиоактивных отходов»;

– «Получение разрешения на проведение на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, относящейся к зоне эвакуации (отчуждения), мероприятий, связанных с обеспечением радиационной безопасности, предотвращением переноса радионуклидов, осуществлением природоохранных мероприятий, техническим обслуживанием инженерных сетей, коммуникаций и иных объектов, научно-исследовательских или экспериментальных работ».

Постановление вступило в силу с 17 июня 2024 года.

Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30.04.2024 № 41

[«Об изменении постановления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 4 февраля 2022 г. № 5»](#)

Внесены уточнения в регламенты административных процедур, утвержденные постановлением МЧС от 04.02.2022 № 5:

– «Получение (внесение изменения, продление срока действия) разрешения на реализацию образовательной программы повышения квалификации руководящих работников и специалистов по вопросам ядерной и (или) радиационной безопасности»;

– «Получение аттестата индивидуального предпринимателя, работника юридического лица, оказывающего услуги по консультированию в области обеспечения радиационной безопасности (консультанта)»;

– «Внесение изменения в аттестат индивидуального предпринимателя, работника юридического лица, оказывающего услуги по консультированию в области обеспечения радиационной безопасности (консультанта)»;

– «Получение свидетельства о государственной регистрации типа источника ионизирующего излучения первой – четвертой категории по степени радиационной опасности»;

– «Внесение изменения в свидетельство о государственной регистрации типа источника ионизирующего излучения первой – четвертой категории по степени радиационной опасности».

Постановление вступило в силу с 17 июня 2024 года.

Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30.04.2024 № 43

[«Об изменении постановления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 4 апреля 2023 г. № 18»](#)

Уточнены регламенты административных процедур, утвержденные постановлением МЧС от 04.04.2023 № 18:

– «Получение лицензии на осуществление деятельности по обеспечению пожарной безопасности»;

– «Изменение в лицензию на осуществление деятельности по обеспечению пожарной безопасности».

Постановление вступило в силу с 17 июня 2024 года.

### Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27.12.2023 № 33

[«О деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух»](#)

Документом утверждено Положение о порядке проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Положение в том числе определяет общие требования к составу, оформлению и содержанию акта инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (далее – выбросы). Инвентаризация выбросов проводится юрлицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, связанную с выбросами от стационарных источников выбросов (природопользователь).

Инвентаризация выбросов не проводится для мобильных и нестационарных источников выбросов.

Кроме того, документом утверждается Положение о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Постановление вступило в силу после его официального опубликования и распространяет свое действие на отношения, возникшие с 23 января 2024 года.

### Министерство промышленности Республики Беларусь

Постановление Министерства промышленности Республики Беларусь от 26.04.2024 № 2

[«Об изменении постановления Министерства промышленности Республики Беларусь от 15 апреля 2022 г. № 6»](#)

Уточнен Регламент административной процедуры «Получение заключения о назначении ввозимых организацией – производителем электромобилей на территорию Республики Беларусь компонентов», утвержденный постановлением Минпрома от 15.04.2022 № 6.

Постановление вступило в силу с 17 июня 2024 года.

### Министерство финансов Республики Беларусь

Постановление Министерства финансов Республики Беларусь от 30.04.2024 № 27

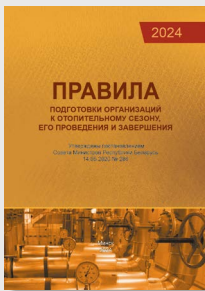
[«Об изменении постановления Министерства финансов Республики Беларусь от 12 февраля 2018 г. № 13»](#)

Скорректировано постановление Министерства финансов от 12.02.2018 № 13 «О единоличном составлении первичных учетных документов».

Закреплена возможность составления первичного учетного документа (ПУД), подтверждающего совершение хозяйственной операции, участником хозяйственной операции единолично в случае подачи энергоснабжающей организацией абоненту (потребителю) через присоединенную сеть энергии по договору энергоснабжения, в котором предусмотрено оформление ПУД, подтверждающих подачу энергии, единолично.

Кроме того, уточнено, что ПУД может быть составлен единолично при оказании заказчиком (застройщиком) услуги по организации и обеспечению строительства объектов, финансируемых полностью или частично за счет средств бюджетов, включая государственные целевые бюджетные фонды, а также за счет государственных внебюджетных фондов, разрешительная документация на которые получена (а в случае, когда разрешительная документация не требуется, – решение о строительстве которых принято) до 1 июля 2023 года.

Постановление вступает в силу поэтапно: с 12 мая и с 23 июля 2024 года.



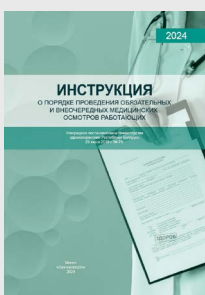
## ПРАВИЛА подготовки организаций к отопительному сезону, его проведения и завершения

Утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 14.05.2020 № 286



## О ПОДГОТОВКЕ к работе в осенне-зимний период 2024/2025 года

Постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.05.2024 № 380



## ИНСТРУКЦИЯ о порядке проведения обязательных и внеочередных медицинских осмотров работающих

Утверждена постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 29.07.2019 № 74



## ПРАВИЛА расследования и учета несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний

Утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 15.01.2004 № 30 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 16.01.2024 № 36)

### ОЗНАКОМИТЬСЯ

с документами можно  
в ЭИС «Энергодokument»  
[energodoc.by](http://energodoc.by)

### ЗАКАЗАТЬ

- в редакции по телефону:  
+375 29 399-11-04, +375 33 319-11-04  
+375 17 286-08-28
- на сайте [energodoc.by](http://energodoc.by)

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

# ПОДПИСКА – 2024

Оформить подписку можно:

**в любом  
почтовом  
отделении**

подписной индекс  
009382

**в редакции**

по тел./факсу  
+375 17 286-08-28

по тел.  
+375 29 399-11-04

**на сайте**

[energystategy.by](http://energystategy.by)

**по эл. почте**

[2934682@mail.ru](mailto:2934682@mail.ru)

**XXVIII БЕЛОРУССКИЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ и  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ**

[energyexpo.by](http://energyexpo.by)

# ENERGY EXPO

ЭНЕРГЕТИКА  
ЭКОЛОГИЯ  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
ЭЛЕКТРО

**green  
industry**

ИННОВАЦИОННЫЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

**etrans**

САЛОН  
ИННОВАЦИОННОГО  
ТРАНСПОРТА

**15-18.10.2024**

Минск, пр. Победителей, 20/2