



Югорский
государственный
университет



БИЗНЕС-ТРАНСФОРМАЦИЯ: УПРАВЛЕНИЕ УЛУЧШЕНИЯМИ

Выпуск № 4 (13) 2025



г. Ханты-Мансийск



Бизнес-трансформация: управление улучшениями

Студенческий научный журнал

№ 4 (13)

2025 г.

Ханты-Мансийск
2025

УДК 001

Главный редактор – **Лебедева Илона Дмитриевна**

Редакционная коллегия:

1. **Абилькенова Валерия Анатольевна** – кандидат социологических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
2. **Аладко Олеся Ивановна** – кандидат педагогических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
3. **Антюфеева Татьяна Валерьевна** – кандидат биологических наук, доцент высшей экологической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
4. **Астапенко Елена Олеговна** – кандидат экономических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
5. **Берндт Анастасия Анатольевна** – кандидат юридических наук, доцент высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
6. **Бессонова Татьяна Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
7. **Вартанян Арам Саркисович** – кандидат педагогических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
8. **Власова Оксана Вячеславовна** – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
9. **Грязных Андрей Витальевич** – доктор биологических наук, доцент высшей школы физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
10. **Долматов Алексей Викторович** – кандидат технических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
11. **Заров Евгений Андреевич** – старший научный сотрудник лаборатории изучения пространственно-временной динамики углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
12. **Коцюрко Елена Петровна** – доцент высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
13. **Лукьянец Ольга Валериевна** – кандидат психологических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
14. **Мионов Андрей Валерьевич** – кандидат психологических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
15. **Осипов Дмитрий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
16. **Парамзин Александр Олегович** – кандидат технических наук, доцент политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
17. **Плучевская Эмилия Валерьевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
18. **Пятков Сергей Григорьевич** – доктор физико-математических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

19. **Сабреков Александр Фаритович** – научный сотрудник лаборатории изучения пространственно-временной динамики углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

20. **Самарин Валерий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

21. **Слободян Малика Лутаевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

22. **Сомикова Татьяна Юрьевна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

23. **Стогов Максим Валерьевич** – доктор биологических наук, профессор высшей школы физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

24. **Такмашева Ирина Вениаминовна** – кандидат экономических наук, доцент академического департамента ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

25. **Тесленок Сергей Адамович** – кандидат географических наук, доцент высшей экологической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

26. **Ткаченко Всеволод Андреевич** – кандидат технических наук, доцент политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

27. **Филимонова Наталья Владимировна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

28. **Харина Наталья Сергеевна** – кандидат исторических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

29. **Челак Елена Анатольевна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

30. **Шепелев Александр Олегович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией искусственного интеллекта электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

31. **Шицелов Анатолий Вячеславович** – старший преподаватель инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

Рубрика «Бережливое производство: синергия возможностей»*Касьянов Н. О.*

Анализ потерь электроэнергии на примере АО «Россети Тюмень»	5
---	---

Рубрика «Зеленые технологии природопользования в решении экологических проблем»*Авраменко А. В.*

Фиторемедиация: перспективный путь борьбы с нефтезагрязнениями	14
--	----

Егоров А. А.

Экологические аспекты модернизации технологического процесса эксплуатации газовых турбин на газотурбинной электростанции	23
--	----

Клепикова К. А.

Правовое регулирование ESG-повестки на примере деятельности предприятий ХМАО-Югры (АО «Югра-Экология»)	29
--	----

Мозер Д. Е.

Экологическая безопасность газотранспортных систем Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: современные технологии и перспективы	38
--	----

Рудницкий С. И.

Экологическая безопасность в аспекте ресурсодобывающего региона	45
---	----

Рубрика «Месторождение знаний»*Бетев Д. В., Тагаева П. З.*

Прогнозирование временных рядов на примере графика электрических нагрузок	51
---	----

Данилов Д. А.

Сравнение методов настройки ПИД-регулятора на примере автоматического регулирования возбуждения двигателя постоянного тока	60
--	----

Саблина А. А.

Система анализа и формирования отчётов гибридной солнечной электростанции	68
---	----

Шерешков Н. П.

Трибодиагностика электрических двигателей	74
---	----

Информация об ошибочно опубликованной статье	81
--	----

**АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ
АО «РОССЕТИ ТЮМЕНЬ»**

**ANALYSIS OF ELECTRICITY LOSSES USING THE EXAMPLE
OF JSC «ROSSETI TYUMEN»**

Касьянов Никита Олегович

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: nikitakasyanov@internet.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент

Шепелев Александр Олегович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Nikita O. Kasyanov

13.03.02 Electrical Power Engineering and Electrical Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: nikitakasyanov@internet.ru

Scientific adviser: Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

Alexander O. Shepelev

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы потерь электроэнергии в электрических сетях как одного из ключевых показателей экономичности и надежности электроэнергетических систем. На примере АО «Россети Тюмень» проведен анализ динамики поступления, отпуска и потерь электроэнергии за 2021–2023 годы. Показано, что компания демонстрирует один из самых низких уровней потерь среди дочерних обществ ПАО «Россети» – в диапазоне 2,64–2,73 %, что существенно ниже среднеотраслевых значений. Особое внимание уделено стратегическим документам, закрепляющим необходимость снижения потерь на государственном уровне. Установлено, что ключевыми факторами снижения потерь в исследуемый период стали внедрение интеллектуальных систем учета, цифровизация процессов, модернизация сетевой инфраструктуры и организационные меры по профилактике несанкционированного потребления. Сделан вывод об эффективности комплексного подхода, реализуемого АО «Россети Тюмень», и возможности масштабирования данного опыта в другие электросетевые компании России.

Ключевые слова: потери электрической энергии, электрические сети, энергоэффективность, энергосбережение.

Annotation. The article considers the problems of electricity losses in electrical networks as one of the key indicators of the efficiency and reliability of electric power systems.

Using the example of JSC Rosseti Tyumen, an analysis of the dynamics of electricity receipt, supply and losses for 2021-2023 was carried out. It is shown that the company demonstrates one of the lowest levels of losses among the subsidiaries of PJSC Rosseti – in the range of 2.64-2.73%, which is significantly lower than the industry average. Particular attention is paid to strategic documents that enshrine the need to reduce losses at the state level. It was found that the key factors in reducing losses during the study period were the introduction of intelligent metering systems, digitalization of processes, modernization of network infrastructure and organizational measures to prevent unauthorized consumption. A conclusion is made about the effectiveness of the integrated approach implemented by JSC Rosseti Tyumen and the possibility of scaling this experience to other electric grid companies in Russia.

Keywords: electrical energy losses, electrical networks, energy efficiency, energy saving.

Потери электроэнергии представляют собой один из самых важных показателей экономичности электроэнергетических систем, и их снижение является крайне актуальной задачей. По существующим данным, суммарные потери электроэнергии в сетях составляют 10–15 % от энергии, отпущенной от источников питания, но в отдельных линиях 0,4 кВ могут быть до 50 % с учетом коммерческой составляющей [1; 2]. Такой высокий уровень потерь напрямую влияет на эффективность работы электросетевых компаний, поскольку они приводят к увеличению затрат и, как следствие, повышению тарифов для потребителей.

Проблема потерь электроэнергии носит комплексный характер и требует системного подхода к ее решению. Помимо технических аспектов, связанных с износом оборудования, неоптимальными режимами работы сетей и несовершенством систем учета, значительную роль играют организационные и экономические факторы. К ним относятся эффективность энергосбытовой деятельности, внедрение современных технологий учета и контроля, борьба с несанкционированным потреблением и другие.

Приоритетными направлениями развития электроэнергетики становятся минимизация затрат при одновременном обеспечении надежности и качества электроснабжения [3]. Снижение потерь, вызванное неэффективными режимами работы, ошибками учета и проблемами энергосбыта, становится ключевым для энергосбережения. Полное устранение потерь невозможно, поэтому необходимо стремиться к их минимизации до наиболее рационального уровня. Превышение уровня потерь приводит к значительным финансовым убыткам электросетевых компаний, средства от снижения которых могли бы быть направлены на модернизацию сетей, повышение надежности электроснабжения и снижение тарифов. В условиях роста энергопотребления нагрузка на электрические сети возрастает, что делает задачу управления потерями еще более актуальной.

На государственном уровне задача снижения потерь закреплена в стратегических документах, в том числе в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, где отмечается необходимость последовательного

сокращения удельных потерь при передаче электроэнергии [4]. Таким образом, анализ потерь в сетях и разработка мероприятий по их снижению остаются приоритетной задачей.

В российской практике подход к оценке и регулированию потерь закреплён нормативно. Так, в приказе Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326 потери электроэнергии классифицируются на технологические и коммерческие. Технологические потери обусловлены физическими процессами передачи электроэнергии и включают нагрузочные потери линий, расходы на собственные нужды подстанций и измерительные погрешности в рамках нормативов. Коммерческие (нетехнологические) потери – это разность между фактическими и нормируемыми технологическими потерями, главным образом связанными с несанкционированными подключениями и неточным учетом [5].

Нормативы Минэнерго фактически определяют критерии, по которым оценивается эффективность работы сетевых компаний: потери в пределах установленного норматива считаются технологически обоснованными, а превышение нормативных значений трактуется как экономически неэффективная деятельность. Таким образом, при анализе динамики важно учитывать не только абсолютные значения и их долю в полезном отпуске, но и соответствие нормативным критериям, что позволяет объективно оценить результаты внедряемых мероприятий по снижению потерь.

Исследование посвящено анализу динамики потерь электрической энергии в сетях АО «Россети Тюмень» за период с 2021 по 2023 год. АО «Россети Тюмень» является дочерним обществом ПАО «Россети» и одной из ведущих межрегиональных распределительных сетевых компаний в России. С момента своего образования 3 мая 1979 года тюменская энергосистема обеспечивает надежное и качественное электроснабжение потребителей на территории трех субъектов Российской Федерации: Тюменской области, Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа. Выбор именно этой компании обусловлен тем, что по итогам последних лет она демонстрирует один из самых низких уровней потерь в отрасли, что делает ее показательным примером для анализа эффективности реализуемых мероприятий.

Научная новизна работы заключается в том, что на примере конкретной электросетевой компании рассматривается эффективность комплексного подхода к снижению потерь, основанного на сочетании цифровых технологий, технической модернизации и организационных мер. В работе использованы публично доступные данные годовых отчетов группы компаний «Россети», размещенные на ее официальном сайте [6]. Анализ охватывает поступление и отпуск электроэнергии, абсолютные и относительные потери, а также факторы, определяющие их изменение. Потери определяются как разница между поступившим и отпущенным объемом энергии, выраженная в натуральных и относительных показателях. Автор не проводил дополнительных расчетов, а сосредоточился на интерпретации официальной статистики и сопоставлении ее динамики с мероприятиями, реализованными компанией в исследуемый период. Исходная статистика охватывает три полных отчетных года (см. табл. 1):

Таблица 1 – Показатели услуг по передаче электроэнергии АО «Россети Тюмень» за 2021–2023 гг. (факт.)

Год	Объем поступления электрической энергии в сеть, млн кВт·ч	Объем отпуска электрической энергии из сети потребителям, млн кВт·ч	Потери электрической энергии, млн кВт·ч	Уровень потерь электрической энергии, %
2021	53 667	52 204	1 463	2,73
2022	56 194	54 712	1 482	2,64
2023	55 029	53 561	1 468	2,67

Наблюдаемый период характеризуется относительно стабильным уровнем потерь электроэнергии в АО «Россети Тюмень», что свидетельствует о стабильности функционирования сети и эффективности применяемых мер по контролю потерь. Внутри этого периода можно выделить следующие закономерности:

1. В 2022 году зафиксирован наибольший объем поступления (56 194 млн кВт·ч) и отпуска электроэнергии (54 712 млн кВт·ч) в сеть, в то время как наименьшие значения наблюдались в 2021 году (53 667 млн кВт·ч и 52 204 млн кВт·ч соответственно) (см. рис. 1).

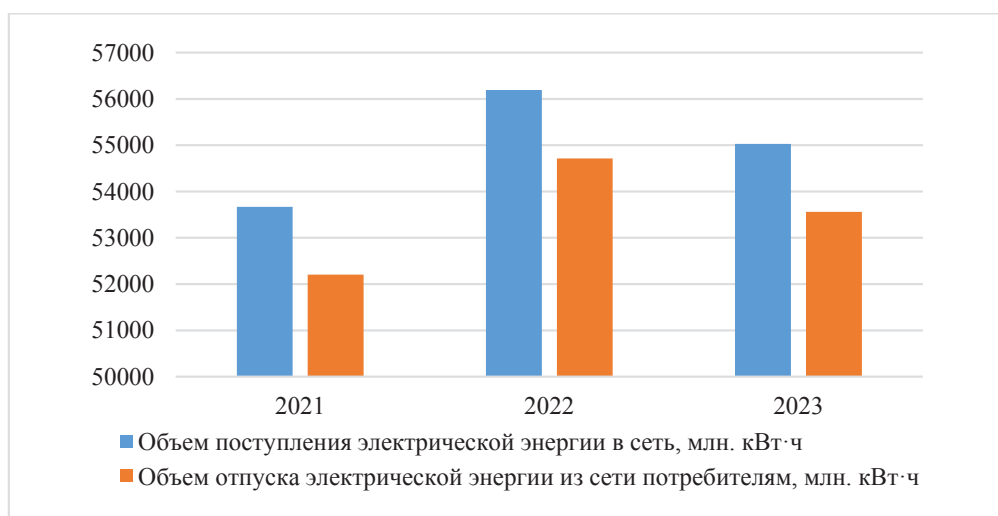


Рисунок 1 – Объемы поступления в сеть и отпуск из сети электроэнергии (составлено автором)

Рост показателей в 2022 году был обусловлен увеличением потребления электроэнергии со стороны промышленности и населения, а также влиянием климатических условий, которые потребовали дополнительных объемов энергообеспечения.

2. Наименьший уровень потерь зафиксирован в 2022 году (2,64 %), что указывает на наиболее эффективное использование электроэнергии в данный период, а максимальный уровень наблюдался в 2021 году (2,73 %) (см. рис. 2). Снижение относительных потерь в 2022 году объясняется комплексом факторов. Во-первых, рост потребления электроэнергии со стороны промышленности и населения (увеличение отпуска на 4,7 % по сравнению с 2021 г.) привел к

уменьшению удельной доли потерь при практически неизменном их абсолютном значении. Во-вторых, в 2022 году проявился эффект от масштабного внедрения интеллектуальных приборов учета и цифровых систем мониторинга, что позволило сократить коммерческие потери и повысить точность расчетов. Существенную роль сыграли и организационные мероприятия по профилактике безучетного потребления.

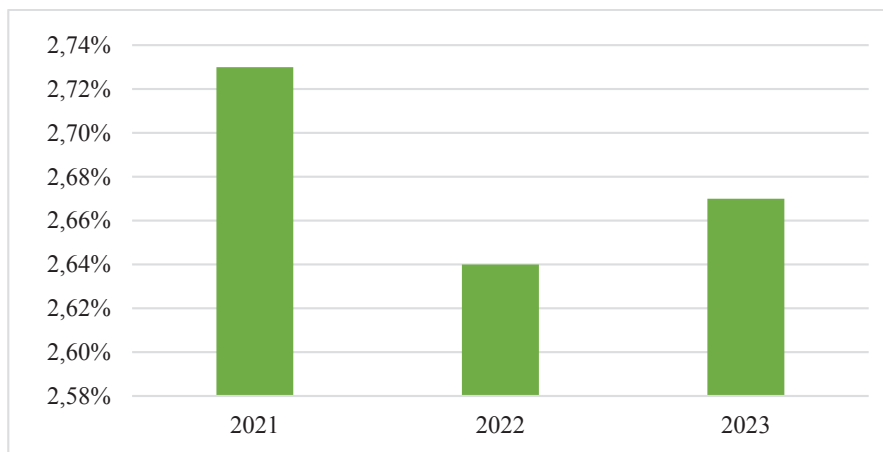


Рисунок 2 – Динамика уровня потерь электроэнергии в АО «Россети Тюмень»
(составлено автором)

3. Влияние модернизации и реконструкции проявилось преимущественно в 2022–2023 годах, когда были завершены проекты по вводу новых трансформаторов и линий. Эти мероприятия позволили разгрузить перегруженные участки сети, снизить нагрузочные потери и повысить общий КПД. Однако эффект модернизации оказался менее значимым, чем влияние объема нагрузки и структуры потребления, поэтому общая тенденция в 2023 году характеризуется не снижением, а стабилизацией потерь на уровне около 2,7 %.

4. Небольшой рост – до 2,67 % – в 2023 году обусловлен снижением общего отпуска электроэнергии (на 2,1 % по сравнению с 2022 г.), что при практически неизменных абсолютных потерях увеличило их удельную долю. Дополнительно на показатели повлияли сезонные колебания нагрузок и температурные факторы. Несмотря на это, благодаря реализации стратегических направлений, таких как цифровая трансформация, профилактика неучтенного потребления, развитие инновационных технологий учета и создание системы оперативно-технологического управления, компании удалось сохранить один из самых низких уровней потерь в отрасли.

Снижение потерь электроэнергии – важнейший приоритет работы группы компаний «Россети», который является сложной комплексной задачей, требующей существенных капиталовложений. Мероприятия по снижению потерь проводятся во всех электросетевых компаниях группы «Россети». АО «Россети Тюмень» является лидером среди дочерних предприятий ПАО «Россети» по минимизации потерь электроэнергии. Уровень потерь компании за 2021–2023 гг. находится в диапазоне от 2,64 % до 2,73 %, что значительно ниже среднеотрас-

левых показателей. Такой результат обусловлен последовательной реализацией стратегии развития ПАО «Россети» и ДЗО до 2030 года, предусматривающей цифровизацию, техническое перевооружение и внедрение интеллектуальных систем управления.

Цели и задачи стратегии развития АО «Россети Тюмень» соответствуют ключевым национальным целям и стратегическим задачам, установленным для электросетевого комплекса на федеральном уровне. Это определяется указами президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 09.05.2017 № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», а также Комплексным планом модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.09.2018 № 2101-р, Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р, и другими государственными документами в области электроэнергетики [7].

Ключевые стратегические направления, реализованные АО «Россети Тюмень» в рамках стратегии развития:

- цифровая трансформация распределительных сетей, включая массовое внедрение интеллектуальной системы учета и систем оперативного мониторинга;
- профилактика неучтенного потребления электроэнергии;
- повышение эффективности сетей и энергообъектов за счет реконструкции сетей и изменения их конфигурации, снижения энергопотребления на собственные нужды;
- развитие инновационных технологий, направленных на повышение точности учета электроэнергии и сокращение коммерческих потерь;
- инвестиции в реконструкцию и техническое перевооружение подстанций и линий электропередачи, включая внедрение оборудования с минимальными потерями энергии;
- создание единой системы оперативно-технологического управления для повышения оперативности реагирования на возникающие проблемы.

Для профилактики неучтенного потребления в АО «Россети Тюмень» в последние годы ведется активная работа по установке современных приборов учета электроэнергии. Особое место среди этих мер занимает масштабное развертывание интеллектуальной системы учета. Как отмечает заместитель генерального директора по развитию и реализации услуг «Россети Тюмень» Владимир Кирюхин, создание единой интеллектуальной системы учета электроэнергии является эффективным инструментом снижения коммерческих потерь, обеспечивающим надежное электроснабжение и прозрачные взаиморасчеты для потребителей. «Уровень потерь является объективным индикатором как состояния электросетевого комплекса, так и эффективности энергокомпании в части управления своими активами», – подчеркнул топ-менеджер [8].

Закрепленное законодательно с 1 января 2022 года требование об установке только интеллектуальных приборов учета, а также возложение обязанностей по их финансированию на сетевые организации и гарантирующих поставщиков способствует повышению прозрачности расчетов, облегчает обнаружение несанкционированных подключений и позволяет в режиме реального времени оптимизировать режимы сети. Для АО «Россети Тюмень», демонстрирующего один из самых низких уровней потерь электроэнергии, дальнейшее расширение интеллектуальной системы учета представляет собой рентабельный инструмент достижения целевых показателей в будущем.

Авторы Кудратова Д. Д. и Аминов П. А. [9] выделяют, что основными причинами потерь электрической энергии в электрических сетях являются: старение электрических сетей; перегрузка трансформаторов и автотрансформаторов, что приводит к значительным техническим потерям; недостаточно эффективная система учета, что приводит к неэффективному учету и высоким коммерческим потерям; отсутствие достоверной базы данных потребителей, то есть наличие потребителей без счетчиков, отсутствие системы картирования потребителей; отсутствие надлежащей системы мониторинга и контроля электрических сетей и потребителей.

Комплексный подход к модернизации электросетевого комплекса АО «Россети Тюмень», включающий внедрение интеллектуальных систем учета и автоматизацию технологических процессов, позволил значительно улучшить управляемость и прозрачность электроэнергетического комплекса компании. Это привело не только к снижению коммерческих потерь, но и существенно сократило технические потери, повысив общую эффективность работы сетей.

Реализация стратегии развития группы компаний «Россети» до 2030 года подразумевает дальнейшее расширение цифровых технологий, развитие инфраструктуры и систем управления, что позволит АО «Россети Тюмень» сохранить и улучшить достигнутые показатели энергоэффективности. Именно системный подход и четкое следование стратегическим ориентирам компании обеспечили стабильно низкий уровень потерь, который служит примером для других региональных подразделений группы компаний «Россети».

Опыт АО «Россети Тюмень» показывает, что эффективное управление потерями электроэнергии возможно лишь при комплексном и системном подходе, реализуемом в рамках долгосрочной стратегии компании. Ключевыми элементами такого подхода стали цифровизация сетей, широкое внедрение интеллектуальных счетчиков и техническая модернизация энергообъектов. Полученные результаты позволяют рекомендовать данный опыт для масштабирования в других компаниях группы «Россети», что приведет к значительному повышению эффективности работы всего российского электросетевого комплекса.

Список источников

1. Виноградов А. В., Виноградова В. Е. Проблемы повышения эффективности систем электроснабжения сельских потребителей // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2019. № 11. С. 60–67.
2. Agha A., Attar H., Luhach A. K. Optimized economic loading of distribution transformers using minimum energy loss computing // *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. Art. ID 8081212.
3. Виноградов А. В. Актуальные вопросы развития электроснабжения АПК // *Агротехника и энергообеспечение*. 2022. № 1 (34). С. 5–15.
4. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 15.05.2025).
5. Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям : Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326 // Гарант. URL: <https://base.garant.ru/195516/> (дата обращения: 15.05.2025).
6. Годовой отчет 2023. Анализ производственных результатов // Россети. URL: <https://ar23.rosseti.ru/ru/strategic-report/operating-results/analysis-operating-results> (дата обращения: 15.06.2025).
7. Миссия и стратегия // Россети. URL: <https://www.rosseti.ru/company/mission-and-strategy/> (дата обращения: 15.06.2025).
8. Эффекты от реализации Программы снижения потерь «Россети Тюмень» составили 220 млн рублей // Россети Тюмень. URL: https://www.te.ru/press_center/news/840/33435/ (дата обращения: 15.06.2025).
9. Кудратова Д. Д., Аминов П. А. Анализ потерь электрической энергии в электрических сетях и пути их снижения // *Наука – основа инновационного развития : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф.* (Душанбе, 18–19 апр. 2024 г.). Душанбе, 2024. С. 30–33.

References

1. Vinogradov A. V., Vinogradova V. E. Problems of increasing the efficiency of power supply systems for rural consumers // *Energiiia: ekonomika, tekhnika, ekologiiia*. [Energy: Economics, Technology, Ecology]. 2019. No. 11, pp. 60-67 (in Russian)
2. Agha A., Attar H., Luhach A. K. Optimized economic loading of distribution transformers using minimum energy loss computing // *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. Art. ID 8081212.
3. Vinogradov A. V. Current issues of agricultural power supply development. // *Agrotekhnika i energoobespechenie*. [Agricultural technology and energy supply]. 2022. No. 1 (34), pp. 5-15 (in Russian)

4. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1523-r dated June 9, 2020 // *Garant*. [Reference and legal system «Garant»] Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (Accessed 15 May 2025) (in Russian)

5. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated December 30, 2008 No. 326 “On the organization of work in the Ministry of Energy of the Russian Federation on the approval of standards for technological losses of electricity during its transmission through electric networks” // *Garant*. [Reference and legal system «Garant»] Available at: <https://base.garant.ru/195516> (Accessed 15 May 2025) (in Russian)

6. *Godovoi otchet 2023. Analiz proizvodstvennykh rezul'tatov* [Annual Report 2023. Analysis of Production Results]. Available at: <https://ar23.rosseti.ru/ru/strategic-report/operating-results/analysis-operating-results> (Accessed 15 June 2025) (in Russian)

7. *Missiia i strategiiia PAO «Rosseti»* [Mission and strategy of PJSC Rosseti]. Available at: <https://www.rosseti.ru/company/mission-and-strategy/> (Accessed 15 June 2025) (in Russian)

8. *Effekty ot realizatsii Programmy snizheniia poter' «Rosseti Tiumen'»* [Effects from the implementation of the Rosseti Tyumen Loss Reduction Program]. Available at: https://www.te.ru/press_center/news/840/33435/ (Accessed 15 June 2025) (in Russian)

9. Kudratova D. D., Aminov P. A. Analysis of electrical energy losses in electrical networks and ways to reduce them // *Nauka – osnova innovacionnogo razvitiya: materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Dushanbe, 18–19 aprelya 2024 goda* [Science is the basis of innovative development: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference, Dushanbe, April 18–19, 2024]. Dushanbe, 2024, pp. 30-33 (in Russian).

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ: ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ БОРЬБЫ С НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯМИ

PHYTOREMEDIATION: A PROMISING WAY TO COMBAT OIL POLLUTION

Авраменко Анастасия Владимировна

05.04.06 Экология и природопользование

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: avramenkonastya963@mail.ru

Научный руководитель: канд. биол. наук

Кузнецова Светлана Борисовна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Anastasia V. Avramenko

05.04.06 Ecology and nature management

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: avramenkonastya963@mail.ru

Scientific adviser: Candidate of Sciences in Biology

Svetlana B. Kuznetsova

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию фитореимедиаии как перспективного и экологичного способа очистки окружающей среды от нефтепродуктов. Основная цель работы состоит в анализе механизмов и видов фитореимедиаии, а также выявлении наиболее подходящих из них для осуществления очистки нефтезагрязнений в Ханты-Мансийском автономном округе. Основной метод исследования – анализ научных статей, книг, пособий и интернет-ресурсов. Итогом проведенного исследования стало выделение наиболее подходящих механизмов очистки и видов растений, пригодных для проведения работ по восстановлению загрязнённых территорий с учётом уникальных почвенно-климатических особенностей региона.

Ключевые слова: фитореимедиаия, очистка, нефтепродукты, почва, углеводороды, растения, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Annotation. This article is devoted to the study of phytoreimедиаiation as a promising and environmentally friendly method of cleaning the environment from petroleum products. The main purpose of the work is to analyze the mechanisms and types of phytoreimедиаiation, as well as to identify the most suitable ones for cleaning oil pollution in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. The main research method is the analysis of scientific articles, books, manuals and online resources. The study resulted in the

identification of the most suitable purification mechanisms and plant species suitable for remediation of contaminated areas, taking into account the unique soil and climatic characteristics of the region.

Keywords: phytoremediation, purification, petroleum products, soil, hydrocarbons, plants, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra.

Проблема нефтяных загрязнений занимает одно из центральных мест среди современных экологических угроз, особенно актуально эта проблема проявляется в регионах нефтедобычи, таких как Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. Нефть и нефтесодержащие продукты, попадая в окружающую среду, оказывают негативный эффект, затрагивающий различные географические оболочки и среды жизни. Такого рода загрязнения вызывают деградацию почв, нарушают водные экосистемы, приводят к угнетению организмов и к их гибели [1–5].

Традиционные методы очистки нефтезагрязненных территорий зачастую дорогостоящи, трудоемки и сопровождаются вторичным воздействием на окружающую среду. В связи с этим возрастает интерес к биологическим методам восстановления нарушенных территорий, среди которых особое внимание уделяется фиторемедиации [1; 3].

Цель настоящей статьи заключается в обзоре существующих сведений о разновидностях и механизмах фиторемедиации, а также выявлении наиболее подходящих методик очистки территорий нефтедобычи от нефтепродуктов с учетом почвенно-климатических особенностей ХМАО-Югры.

Фиторемедиация («phyto» – растение и «remedium» – очищать, восстанавливать) представляет собой инновационный подход к восстановлению деградированных земель и загрязненных вод посредством целенаправленного выращивания специально подобранных растений, обладающих способностью извлекать, аккумулировать, трансформировать или разрушать загрязняющие вещества в процессе своей жизнедеятельности. Данный метод обладает рядом преимуществ: низкая стоимость, высокая эффективность, особенно на больших по площади территориях, небольшие энергозатраты, универсальность, экологичность и способность восстанавливать плодородие почв естественным образом [3; 6].

При использовании технологии очистки окружающей среды от ксенобиотиков с помощью растительных организмов важным является выбор наиболее подходящих из них видов для данной территории и условий, то есть нужно брать во внимание почвенные и климатические характеристики местности, а также степень загрязнения и природу поллютанта. Преимуществом фиторемедиации как раз таки и является широкий спектр растений-фиторемедиантов, а также самих разновидностей данного метода, что дает возможность подобрать наиболее подходящие и соответствующие условиям средства обеспечения качественной очистки с минимальным воздействием на окружающую среду [1; 3; 6].

Климат Ханты-Мансийского автономного округа умеренно континентальный, с длительной и морозной зимой и коротким прохладным летом. Средняя температура января колеблется от -18 до -24 °С, а в некоторых местах опускается

до -60°C . Температура в июле варьируется от $+16$ до $+19^{\circ}\text{C}$, максимум достигает $+36^{\circ}\text{C}$. Весна поздняя, осень ранняя, устойчивый снежный покров сохраняется большую часть года – с октября до середины мая. Осадки распределены неравномерно, за год выпадает от 443 до 610 мм, больше всего – летом. Испарение низкое, регион считается зоной с избыточным увлажнением. Световой день значительно изменяется в зависимости от сезона, создавая резкую разницу продолжительности дня зимой и летом [7].

Почвы Югры разнообразны и неоднородны. Наиболее распространены подзолистые почвы на хорошо дренированных участках, покрытых тёмнохвойной тайгой. Болотные и глеевые почвы доминируют в регионах с низким поверхностным и подземным стоком, а также в понижениях рельефа. Поймы рек представлены комбинациями аллювиальных, дерново-луговых и болотных почв. В описанных условиях хорошо растут влаголюбивые, морозостойкие растения, приспособленные к кислой почвенной среде, небогатой минеральными веществами [8]. Зная почвенно-климатические характеристики региона, где планируется проводиться фиторемедиация, необходимо подобрать наиболее подходящие механизмы метода с учетом особенностей загрязнителя.

Виды фиторемедиации, наиболее подходящие для очистки от нефтепродуктов:

Фитоаккумуляция. Одним из перспективных методов восстановления загрязненной среды выступает фитоаккумуляция – экологически безопасный и экономически целесообразный подход. Его суть заключается в способности определенных растений активно извлекать из почвы и поверхностных вод загрязняющие вещества, концентрируя их в собственных тканях. Механизм взаимодействия может включать как непосредственное поглощение и накопление поллютантов в стеблях и листьях посредством корней, так и сорбционные процессы, происходящие непосредственно вокруг корня [3; 9; 10].

Особое предпочтение при использовании данного вида фиторемедиации отдают гипераккумуляторам – видам, способным концентрировать в себе большое количество поллютантов, не испытывая при этом угнетения. Их выращивают на загрязненных почвах, затем собирают биомассу и подвергают безопасной утилизации путем сжигания, сушки или иной обработки. Получаемая зола, содержащая подавляющую долю удаленных загрязнений, легко транспортируется и хранится, занимая лишь небольшую долю объема исходного загрязнённого материала. К таким растениям относятся, например, полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), а также традиционные сельскохозяйственные культуры вроде подсолнечника (*Helianthus*), люпина (*Lupinus*) и сарептской горчицы (*Brassica juncea*). Для почвенно-климатических характеристик ХМАО подойдут холодоустойчивые и мезо- или гигрофитные виды, такие как кострец безостый (*Bromus inermis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), некоторые виды ивы (*Salix*) и даже бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta*), активно используемые в городском озеленении, для водной среды подойдут растения рода элодея (*Elodea*) [9–13].

Несмотря на очевидные преимущества метода, существуют и ограничения: процедура занимает значительное время, а сбор и последующая обработка загрязнённой биомассы требуют тщательного контроля, чтобы избежать вторичного загрязнения токсичными веществами. Однако именно сочетание эффективности, доступности и устойчивости к неблагоприятным условиям позволяет рассматривать фитоаккумуляцию как надежный инструмент борьбы с загрязнениями [10–11].

Фитодегградация. Метод основан на преобразовании загрязнителей внутри растения. После попадания в организм токсикантов запускаются внутренние биохимические механизмы, расщепляющие загрязняющие вещества на менее опасные составляющие. Некоторые метаболиты остаются в клетках растений, встраиваясь в клеточную структуру, например в лигнин, и превращаясь в практически неактивные соединения, минимально влияя на состояние самого растения. Результат процесса зависит от множества факторов, таких как вид растения и степень загрязнения почвы. Исследования подтверждают, что определённые культуры, такие как зерновые, подсолнечник (*Helianthus*) и рапс (*Brassica*), обеспечивают эффективное очищение при умеренном уровне загрязнений. Применительно к условиям Западной Сибири подходящими видами также являются рогоз узколистный (*Typha angustifolia*), кострец безосный (*Bromus inermis*) [11; 14; 15; 16].

Ризодегградация. При ризодегградации растения способны вырабатывать в ризосфере специальные вещества, стимулирующие развитие полезных микроорганизмов. Благодаря этому симбиотическому взаимодействию активизируется деятельность бактерий, которые ускоряют распад сложных органических соединений, улучшая доступность этих элементов для растений. Так, люцерна посевная (*Medicago sativa*) формирует оптимальные условия для размножения микробов-разрушителей нефтепродуктов, одновременно обладая повышенной толерантностью к самому загрязнению [6; 11; 17].

Ризофильтрация. Этот метод чаще всего применяют для очистки грунтовых, поверхностных и сточных вод, а также заболоченных территорий. Принцип его действия основан на свойствах корней растений, которые адсорбируют, осаждают, накапливают или поглощают загрязняющие вещества непосредственно из водного слоя. Чтобы усилить этот эффект, изначально растения выращивают особым гидропонным способом, формируя мощную корневую систему, которую затем переносят на загрязнённый участок. Корни постепенно вбирают и накапливают вредные вещества подобно процессу фитоаккумуляции, после чего сами растения собираются и проходят специальную обработку для извлечения ценных металлов. В качестве эффективных представителей водной флоры, используемых для ризофильтрации, с учетом умеренного климата зарекомендовали себя элодея (*Elodea*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*), ряска (*Lemna*), обладающие выраженным потенциалом накопления нефтепродуктов и высокой устойчивостью к ним [9; 15; 18].

Фитостабилизация. Фитостабилизация направлена на ограничение мобильности и фиксацию загрязняющих веществ в почве, снижая риск проникно-

вения их в пищевые цепи и усвоения другими организмами. Применение такого метода способствует укреплению структуры почвы, защите от эрозионных процессов и ограничению распространения токсичных веществ под действием ветра, осадков и грунтовых вод. Процесс зачастую рассматривается как важный этап в общей программе восстановления загрязнённых земельных угодий и входит в комплекс мероприятий наряду с агротехническими приёмами, такими как внесение известковых добавок, органических удобрений, структурообразователей и других мелиорантов, направленных на уменьшение кислотности почвы, повышение сопротивляемости растений к действию поллютантов и улучшение общих условий произрастания. Используемые растения должны демонстрировать устойчивость к присутствующим загрязнениям, формировать густой травянистый покров и обеспечивать надёжную фиксацию загрязнений в грунте за счёт активного корневого обмена или физического закрепления молекул поллютантов. Эти растения должны обладать низкой способностью к аккумуляции загрязнений в наземной зеленой массе, чтобы избежать необходимости перерабатывать загрязнённую фитомассу. Практикуются для этих целей такие растения, как бодяк полевой (*Cirsium arvense*), полевица (*Agrostis*), ива (*Salix*) [9–11].

Стоит отметить, что рассматриваемый регион имеет достаточно суровые условия для произрастания растений, поэтому для эффективной очистки окружающей среды с помощью данного метода нужно выбирать не только те виды, которые проявили фиторемедиационную активность, но и отдавать предпочтение в пользу холодостойких сортов или гибридов, прошедших адаптацию к условиям севера. Важным является и обеспечение достаточного минерального питания для растений, так как почвы региона бедны на микроэлементы, осуществить это можно с помощью различных минеральных удобрений и биопрепаратов, например на основе PGP-ризобактерий.

Использование комбинации бактерий и растений в процессах фиторемедиации позволяет достичь значительного прогресса в деле восстановления загрязнённых территорий. Данный подход базируется на симбиозе между микроорганизмами и растениями, каждое из которых обладает уникальными возможностями для нейтрализации загрязнений. Такой прием обладает рядом преимуществ, бактерии помогают разрушать стойкие органические соединения, недоступные обычным путям разложения, что ускоряет общий процесс очистки, кроме того, микроорганизмы способны стимулировать рост и развитие растительных организмов, а также повышать их устойчивость к загрязняющим веществам. Растения в свою очередь продуцируют в ризосфере различные ферменты и стимуляторы роста бактерий, усиливая их активность и способность деструкции поллютантов. Такие подходы не требуют дорогостоящих реагентов и оборудования, предлагая экологически чистый и щадящий способ рекультивации нарушенных территорий. Примером успешной интеграции служит использование подсолнуха в сочетании с бактериями рода *Rhodococcus*, показавшими превосходные результаты в очищении почв от нефтепродуктов [3; 10; 19].

В данной статье были рассмотрены виды фиторемедиации как экологически устойчивого способа очистки почв от нефтезагрязнений с акцентом на адаптацию к почвенно-климатическим условиям Ханты-Мансийского автономного округа. Были проанализированы различные механизмы метода, каждый из которых опирается на физиологические процессы растений для извлечения, аккумуляции, иммобилизации или разложения загрязнителей. Подбор растений осуществлялся с учетом специфических характеристик региона – сурового климата с холодными зимами, кислых и бедных питательными веществами подзолистых, болотных и аллювиальных почв, а также высокой влажности и рисков нефтезагрязнений.

Наиболее предпочтительными видами фиторемедиации для очистки нефтезагрязнений в ХМАО являются фито- и ризодеградация. Их эффективность обусловлена способностью стимулировать естественную микробную активность через ризосферу растений, что приводит к биологическому разложению нефтепродуктов на нетоксичные соединения *in situ*. В отличие от фитоаккумуляции (требующей утилизации растений) и фитостабилизации (иммобилизирующей поллютанты без их обезвреживания), фитодеградация и ризодеградация обеспечивают устойчивое удаление загрязнителей, снижая их концентрацию, а применение бактериальных препаратов совместно с такими механизмами фиторемедиации только усилит деструкцию нефтепродуктов и положительно скажется на почвенных характеристиках. Однако результативность метода зависит от комбинации с другими подходами, учета сезонных факторов и в целом характеристик региона, где планируется применение растений для очистки территорий.

Применение фиторемедиации позволяет существенно снизить затраты на ликвидацию загрязнений, минимизировать негативное воздействие на экосистемы и способствовать восстановлению нарушенных ландшафтов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование технологий и полевые испытания растений-фиторемедиантов, что внесёт вклад в устойчивое развитие нефтегазодобывающей отрасли региона. Данная работа подчёркивает значительный потенциал фиторемедиации как инструмента экологического менеджмента в условиях ХМАО.

Список источников

1. Юнусова Д. М., Елизарьева Е. Н. Очистка почвы от нефтяных загрязнений с помощью растений // Форум молодых ученых. 2016. № 4. С. 1110–1113.
2. Утомбаева А. А. [и др.]. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 1 (29). С. 68–74.
3. Farrell R., Frick C. M., Germida J. J. Phytoremediation of oil-contaminated soils // *Developments in Soil Science*. 2002. Vol. 28. P. 169–186.
4. Шигапов А. М., Гаврилин И. И. Проблема загрязнения почвенного покрова территории Уральского федерального округа углеводородами нефти // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2. С. 1–10.

5. Алексеева М. Н. [и др.]. Дистанционно-наземный мониторинг нефтезагрязненных земель Нефтеюганского района ХМАО // Оптика атмосферы и океана. 2023. № 6. С. 513–520.
6. Goutam U., Kukreja S. Phytoremediation: A new hope for the environment // Frontiers on Recent Developments in Plant Science. 2012. Vol. 1. P. 149–171.
7. Погода в городе Ханты-Мансийск // Архив погоды. URL: <https://weatherarchive.ru/Pogoda/Khanty-Mansiysk> (дата обращения: 24.10.2025).
8. Булатов В. И. [и др.]. География и экология города Ханты-Мансийска и его природного окружения. Ханты-Мансийск : Информационно-издательский центр, 2007. 187 с.
9. Кузнецов А. Е. [и др.]. Прикладная экобиотехнология : учебное пособие. М. : БИНОМ : Лаборатория знаний, 2015. 629 с.
10. Seghatoleslami M. J., Moosavi S. G. Phytoremediation: A review // Advance in Agriculture and Biology. 2013. Vol. 1. P. 5–11.
11. Елизарьева Е. Н., Янбаев Ю. А., Кулагин А. Ю. Особенности выбора фиторемедиационных технологий очистки почв и сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник Удмуртского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 7–19.
12. Якупова А. И., Князева О. А. Биологические способы очистки сточных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Материалы МСНК «Студенческий научный форум 2025». 2021. № 7. С. 15–17.
13. Киреева Н. А. [и др.]. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5. С. 184–187.
14. Ranjan S., Sow S. Phytoremediation: An eco-friendly approach towards clean and green future // The Pharma Innovation. 2021. Vol. 10. P. 839–850.
15. Искужина М. Г. [и др.]. Биологические методы очистки окружающей среды от тяжелых металлов // Экобиотех. 2023. Т. 6, № 2. С. 120–138.
16. Киреева Н. А. [и др.]. Моделирование деградации углеводородов под посевами костреца и вопросы фиторемедиации // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 2237–2239.
17. Степанова А. Ю. [и др.]. Получение трансгенных растений люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) для повышения эффективности фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Экологическая генетика. 2015. № 2. С. 127–135.
18. Шевченко А., Бахтина О. Томские ученые предлагают использовать ряску для очистки водоемов после разлива под Норильском // Neftegaz.ru. URL: <https://neftegaz.ru/news/ecology/553662-uchenye-predlagayut-ispolzovat-ryasku-dlya-ochistki-vodoev-posle-razliva-pod-norilskom/> (дата обращения: 12.10.2025).
19. Уфимские ученые разработали технологию очищения почвы от нефтепродуктов с помощью подсолнечника // Интерфакс Россия. URL: <https://www.interfax-russia.ru/volga/news/ufimskie-uchenye-razrabotali-tehnologiyu-ochishcheniya-pochvy-ot-nefteproduktov-s-pomoshchyu-podsolnechnika> (дата обращения: 12.10.2025).

References

1. Iunusova D. M., Elizar'eva E. N. Cleaning the soil from oil pollution with the help of plants // *Forum molodyh uchenykh* [Forum of Young Scientists]. 2016. No. 4, pp. 1110-1113. (in Russian)
2. Utombaeva A. A. [et al.]. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soils // *Rossijskij zhurnal prikladnoj ehkologii* [Russian Journal of Applied Ecology]. 2022. No. 1(29), pp. 68-74. (in Russian)
3. Farrell R., Frick C. M., Germida J. J. Phytoremediation of oil-contaminated soils // *Developments in Soil Science*. 2002. No. 28, pp. 169-186.
4. Shigapov A. M., Gavrilin I. I. The problem of contamination of the soil cover of the territory of the Ural Federal District with petroleum hydrocarbons // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015. No. 2, pp. 1-10. (in Russian)
5. Alekseeva M. N. [et al.]. Remote-ground monitoring of oil-contaminated lands of the Nefteyugansk region of the KhMAO // *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean]. 2023. No. 6, pp. 513-520. (in Russian)
6. Goutam U., Kukreja S. Phytoremediation: A new hope for the environment // *Frontiers on Recent Developments in Plant Science*. 2012, no. 1, pp. 149-171.
7. *Pogoda v gorode Hanty-Mansijsk* // *Arkhiv pogody* [Weather in Khanty-Mansiysk // Weather Archive]. Available at: <https://weatherarchive.ru/Pogoda/Khanty-Mansiysk> (Accessed 24 October 2025) (in Russian)
8. Bulatov V. I. [et al.]. *Geografiya i ehkologiya goroda Khanty-Mansijska i ego prirodnogo okruzheniya* [Geography and ecology of the city of Khanty-Mansiysk and its natural environment]. Khanty-Mansiysk, Information and Publishing Center, 2007, 187 p. (in Russian)
9. Kuznetsov A. E. [et al.]. *Prikladnaya ehkobiotehnologiya: uchebnoe posobie* [Applied ecobiotechnology: a textbook]. Moscow, BINOM, Laboratory of Knowledge, 2015, 629 p. (in Russian)
10. Seghatoleslami M. J., Moosavi S. G. Phytoremediation: A review // *Advance in Agriculture and Biology*. 2013. No. 1, pp. 5-11.
11. Elizar'eva E. N., Ianbaev Iu. A., Kulagin A. Iu. Features of the choice of phytoremediation technologies for cleaning soils and wastewater from heavy metal ions // *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Bulletin of the Udmurt University]. 2016. No. 26 (3), pp. 7-19. (in Russian)
12. Iakupova A. I., Kniazeva O. A. Biological methods of wastewater treatment from oil and petroleum products pollution // *Materialy MSNK "Studencheskij nauchnyj forum 2025"* [Materials of the MSNC «Student Scientific Forum 2025»]. 2021. No. 7, pp. 15-17. (in Russian)
13. Kireeva N. A. [et al.]. Selection of plants for phytoremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011. No. 13 (5), pp. 184-187. (in Russian)

14. Ranjan S., Sow S. Phytoremediation: An eco-friendly approach towards clean and green future // *The Pharma Innovation*. 2021, no. 10, pp. 839-850.

15. Iskuzhina M. G. [et al.]. Biological methods of environmental purification from heavy metals. *Ehkobiotekh* [Ecobiotech]. 2023. No. 6 (2), pp. 120-138. (in Russian)

16. Kireeva N. A. [et al.]. Modeling of hydrocarbon degradation under starling crops and issues of phytoremediation. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012. No. 1, pp. 2237-2239. (in Russian)

17. Stepanova A. Iu. [et al.]. Production of transgenic alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) to increase the efficiency of phytoremediation of oil-contaminated soils. *Ehkologicheskaya genetika* [Ecological genetics]. 2015. No. 2, pp. 127-135. (in Russian)

18. *Tomskie uchenye predlagayut ispol'zovat' ryasku dlya ochistki vodoemov posle razliva pod Noril'skom* // *Neftegaz.ru* [Tomsk scientists propose using duckweed to clean reservoirs after a spill near Norilsk // *Neftegaz.ru*]. Available at: <https://neftegaz.ru/news/ecology/553662-uchenye-predlagayut-ispolzovat-ryasku-dlya-ochistki-vodoemov-posle-razliva-pod-norilskom/> (Accessed 12 October 2025) (in Russian)

19. *Ufimskie uchenye razrabotali tekhnologiyu ochishcheniya pochvy ot nefteproduktov s pomoshch'yu podsolnechnika* // *Interfaks Rossiya* [Ufa scientists have developed a technology for cleaning the soil from petroleum products using sunflower seeds // *Interfax Russia*]. Available at: <https://www.interfax-russia.ru/volga/news/ufimskie-uchenye-razrabotali-tehnologiyu-ochishcheniya-pochvy-ot-nefteproduktov-s-pomoshchyu-podsolnechnika> (Accessed 12 October 2025) (in Russian)

УДК 502.13:621.438:621.311.238

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВЫХ
ТУРБИН НА ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MODERNIZING
THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF GAS TURBINE OPERATION
AT A GAS TURBINE POWER PLANT**

Егоров Анатолий Алексеевич

05.04.06 Экология и природопользование

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: egorov_86_45@mail.ru

Научный руководитель: канд. геогр. наук,

доцент Антюфеева Татьяна Валерьевна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Anatoly A. Egorov

05.04.06 Ecology and nature management

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: egorov_86_45@mail.ru

Scientific adviser: Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor

Tatiana V. Antyufeeva

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Исследование экологических аспектов модернизации газотурбинных электростанций (ООО «Газпромнефть-Хантос») выявило рост выбросов NO_x, CO, CO₂ и снижение КПД на 7–9 % при высоких температурах окружающего воздуха. Внедрение системы испарительного охлаждения (СВИО) снизило температуру воздуха на входе турбин на 8–12 °С. Результаты: КПД вырос с 28 до 35 %, выбросы CO₂ сократились на 6–8 %, NO_x – на 15–20 %, снижен расход топлива. Модернизация технологического процесса подтверждает возможность совмещения экологической безопасности с энергоэффективностью в условиях ужесточения норм.

Ключевые слова: экологические аспекты, модернизация, технологический процесс, газовые турбины, газотурбинная электростанция.

Annotation. A study of the environmental aspects of modernizing gas turbine power plants (Gazpromneft-Khantos LLC) revealed an increase in NO_x, CO, and CO₂ emissions and a 7–9 % decrease in efficiency at high ambient temperatures. The introduction of an evaporative cooling system (ECS) reduced the turbine inlet air temperature by 8–12 °C. Results: Efficiency increased from 28 % to 35 %, CO₂ emissions

decreased by 6–8 %, NO_x by 15–20 %, and fuel consumption was reduced. The process modernization confirms the feasibility of combining environmental safety and energy efficiency in the face of increasingly stringent regulations.

Keywords: environmental aspects, modernization, technological process, gas turbines, gas turbine power plant.

В последние десятилетия вопрос экологической безопасности и устойчивого развития стал одним из наиболее актуальных в различных отраслях промышленности, включая нефтяную. Эксплуатация нефтяных месторождений как важного источника углеводородного сырья требует применения эффективных и безопасных технологий. В этом контексте газовые турбины, используемые для генерации электроэнергии и механической энергии на нефтяных месторождениях, играют ключевую роль. Однако, несмотря на свою эффективность, эксплуатация газовых турбин сопряжена с определенными экологическими рисками, включая выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и негативное воздействие на окружающую среду.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации технологического процесса эксплуатации газовых турбин. В условиях глобальных изменений климата и ужесточения экологических норм нефтяные компании сталкиваются с вызовами, требующими внедрения более чистых и устойчивых технологий. Модернизация газовых турбин может стать одним из решений, позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить общую экологическую безопасность.

Объектом исследования является технологический процесс эксплуатации газовых турбин на нефтяных месторождениях ООО «Газпромнефть-Хантос», ГТЭС Южно-Приобского месторождения установки ГТУ-12ПГ-2 (далее – ГТУ) разработки ОАО «Авиадвигатель», предмет исследования – сравнительный анализ эффективности модернизации технологического процесса эксплуатации газовых турбин на нефтяных месторождениях ООО «Газпромнефть-Хантос».

При эксплуатации газотурбинных электростанций (далее – ГТЭС) в атмосферу выделяются загрязняющие вещества: углерода оксид, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, сажи, алканы (углеводороды). Выброс вредных веществ в атмосферу осуществляется через выхлопные трубы ГТЭС, продувочные свечи сброса топливного газа, неплотности запорно-регулирующей арматуры, вентиляционные трубы дренажно-канализационных ёмкостей. Характеристики выбросов от газотурбинных установок определены технологическим регламентом эксплуатации ГТУ-12ПГ-2 на объектах ООО «Газпромнефть-Хантос».

Таблица 1 – Сравнительные показатели выбросов NO_x и CO газотурбинных установок в зимнем и летнем режимах эксплуатации [1]

Наименование показателей	Обозначение	Един. изм.	Номинальный режим работы ГТУ	
			Ср. хол. Т. месяц (январь -25°С)	Ср. макс. Т. месяц (июль +22°С)
1) Выбросы оксида азота				
Факт. содержание оксида азота в сухих выхлопных газах ГТУ	$C_{\frac{\text{ГТУ}}{NOx}}$	мг/нм³	39,7	46,9
Секундные выбросы оксида азота в атмосферу от одной ГТУ при 100 %-й макс. нагрузке	$m \frac{\text{ГТУ}}{NOx}$	г/с	1,096	1,136
2) Выбросы оксида углерода				
Факт. содержание оксида углерода в сухих выхлопных газах ГТУ	$C_{\frac{\text{ГТУ}}{CO}}$	мг/нм³	36,8	44,3
Секундные выбросы оксида углерода в атмосферу от одной ГТУ при 100 %-й макс. нагрузке	$m \frac{\text{ГТУ}}{CO}$	г/с	1.106	1.175

Нормативные величины выбросов вредных веществ в дымовых газах определены приказом Минприроды России от 11.08.2020 № 581 «Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» [2] (таблица 2).

Таблица 2 – Перечень вредных веществ в сравнении с нормативными величинами выбросов [2]

Наименование вредных веществ	Расчетные удельные выбросы вредных веществ в дымовых газах (мг/нм ³)	Нормативные величины выбросов вредных веществ в дымовых газах (мг/нм ³)
Азот оксида	39,7–46,9	50
Углерод оксида	36,8–44,3	47

Газотурбинная электростанция «ГТЭС Южно-Приобская» является ключевым объектом энергогенерации общества. Станция включает 8 энергоблоков (ЭБ) с установленной единичной мощностью 12 МВт каждый, что формирует суммарную мощность 96 МВт. Номинальный коэффициент полезного действия (далее – КПД) газотурбинных установок (ГТУ) в оптимальном режиме составляет 40 %, что соответствует современным отраслевым стандартам [3]. Однако, как и большинство объектов подобного типа, станция подвержена сезонной деградации рабочих параметров, обусловленной климатическими факторами.

Каждый энергоблок станции функционирует на основе цикла Брейтона, где критически важным параметром является температура воздуха на входе в компрессор. Для ГТЭС «Южно-Приобская» при повышении температуры на входе до $+30^\circ\text{C}$ мощность одного ЭБ снижается на 7–9 %, а суммарная мощность станции – на 8,9 МВт (с 96 МВт до 87,1 МВт) (рисунок 1).

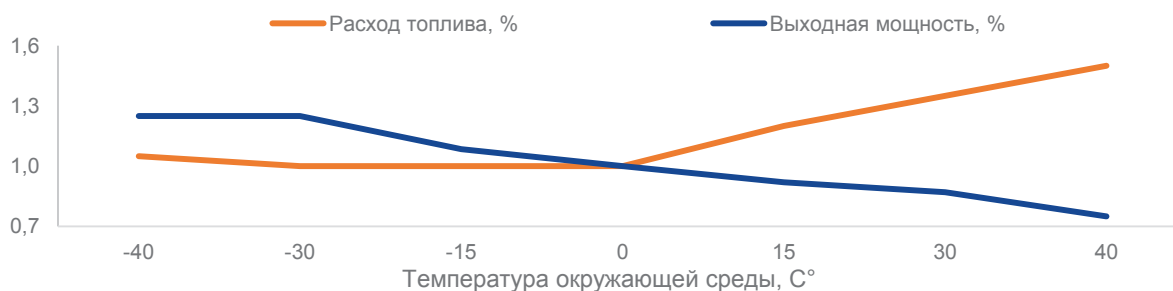


Рисунок 1 – Зависимость повышения температуры с номинальными параметрами (составлено автором)

В ходе исследования было выявлено влияние температурных условий на рабочие параметры:

1. Снижение КПД: при высокой температуре окружающей среды эффективность ГТУ падает до 25–28 % из-за уменьшения плотности воздуха и обеднения топливно-воздушной смеси [3].

2. Рост расхода топлива: удельный расход газа увеличивается на 4–6 % для компенсации потерь мощности, что для станции суммарной мощностью 96 МВт эквивалентно дополнительным 2,1–3,2 млн м³ газа за летний сезон.

3. Экологические последствия: увеличение эмиссии CO₂ на 8–10 % (до 12,5 тыс. тонн/год) и NO_x на 15–20 %.

4. Финансовые потери: снижение выручки.

5. Ускоренный износ оборудования: работа в нерасчетных режимах увеличивает термическую усталость лопаток турбин, сокращая их ресурс на 15–20 %.

6. Риски аварийных остановок: при температуре на входе 35 °C вероятность срабатывания систем аварийной защиты возрастает в 2,3 раза.

Для достижения целевых показателей энергоэффективности был проведен комплексный анализ технологических альтернатив, в результате которого определено оптимальное направление модернизации – усовершенствование систем охлаждения воздуха на входе в компрессор ГТУ. Данный подход позволяет нивелировать влияние повышенных температур окружающей среды на рабочие параметры ГТУ, сохраняя их мощность и КПД в пределах проектных значений.

Был выделен высокоэффективный метод, соответствующий требованиям безопасности, экологичности и рентабельности, – система внешнего испарительного охлаждения.

Система внешнего испарительного охлаждения (СВИО) – это технология, использующая естественные физические процессы для снижения температуры воздуха на входе в компрессор газотурбинных установок (ГТУ) (рисунок 2). Принцип работы системы основан на адиабатическом охлаждении, где энергия, затрачиваемая на испарение воды, отбирается из воздушного потока, повышая его плотность и массовый расход [4]. Применение СВИО позволяет охладить воздух на 8–12 °C даже при температуре окружающей среды +35 °C.

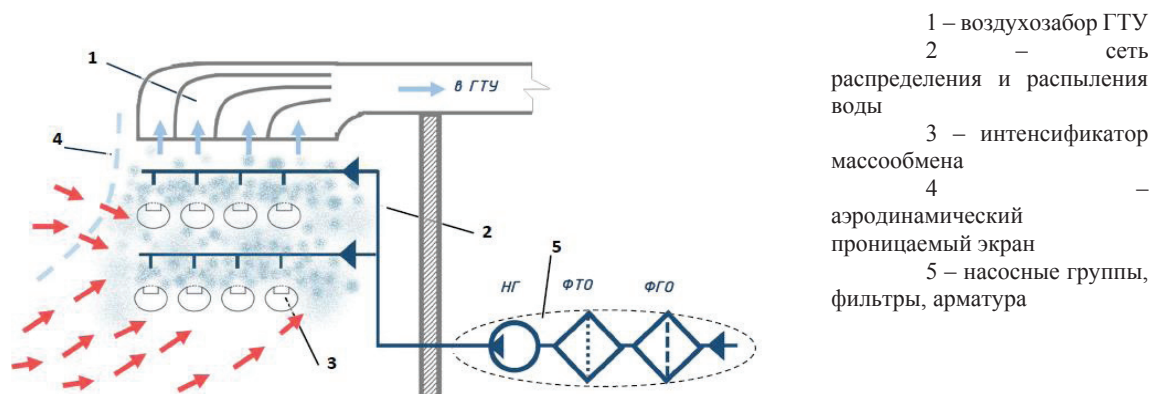


Рисунок 2 – Система внешнего испарительного охлаждения (составлено автором)

Экологические аспекты применения СВИО:

- снижение выбросов CO_2 : на 6–8 % (до 8 тыс. тонн/год) за счет оптимизации работы ГТУ;
- отсутствие химических реагентов в отличие от других технологий.

Был проведен расчет, основанный на ретроспективном анализе эксплуатационных данных энергокомплекса ГТЭС Южно-Приобского месторождения за июль 2023 года, который демонстрирует значительный эффект от внедрения системы внешнего испарительного охлаждения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Техническая эффективность СВИО, июль 2023 г. (составлено автором)

В рамках исследования были проанализированы часовые показатели потребления мощности из внешней сети до и после интеграции СВИО на газотурбинных двигателях (ГТД). Полученные результаты показали, что в периоды пиковых температур (+32...+35 °C) среднее снижение потребления внешней энергии составило 30 % (с 15,2 МВт до 10,6 МВт) благодаря оптимизации работы ГТД. КПД установок увеличился с 28 % (базовый режим при перегреве) до 35 %.

Внедрение СВИО на газотурбинных электростанциях демонстрирует значительный экологический потенциал, снижая нагрузку на окружающую среду. Применение СВИО на ГТЭС «Южно-Приобская» позволит сократить выбросы CO_2 на 6–8 % (до 8 тыс. тонн/год) и NO_x на 15–20 %, что критически важно для минимизации вклада нефтегазовой отрасли в изменение климата. Снижение расхода топлива на 4–6 % дополнительно уменьшает углеродный след.

Результаты соответствуют требованиям Приказа Минприроды № 581 и подтверждают, что СВИО не только повышает энергоэффективность, но и способствует достижению целей устойчивого развития за счет снижения токсичных

выбросов и сохранения ресурсов. Метод служит примером внедрения «зеленых» технологий в промышленности, сочетая экологическую безопасность с технической целесообразностью.

Список источников

1. ГТЭС Южно-Приобского месторождения. Технологический регламент эксплуатации ГТУ-12ПГ-2 // ООО «Газпромнефть-Хантос». URL: <https://www.gazprom-neft.ru/> (дата обращения: 13.03.2025).

2. Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух : приказ Минприроды России от 11.08.2020 № 581 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012300171> (дата обращения: 15.03.2025).

3. Шахина Н., Акула Х., Friterm A. S. Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели. 2011. № 2. С. 8–11. URL: <http://www.turbine-diesel.ru/sites/default/files/n2-2011/Friterm.pdf> (дата обращения: 20.10.2024).

4. MeeFog Systems. URL: <https://www.meefog.com/our-blog/> (date of application: 20.02.2025).

References

1. GTES Iuzhno-Priobskogo mestorozhdeniia. Tekhnologicheskii reglament ekspluatatsii GTU-12PG-2 // ООО «Gazpromneft'-Khantos» [Gas turbine power plant of the Yuzhno-Priobskoye field. Technological regulations for the operation of the gas turbine unit 12PG-2 // Gazpromneft-Khantos LLC.] Available at: <https://www.gazprom-neft.ru/> (Accessed 13 March 2025) (in Russian)

2. Ob utverzhdenii metodiki razrabotki (rasheta) i ustanovleniia normativov dopustimykh vybrosov zagriazniaiushchikh veshchestv v atmosfernyi vozdukh : prikaz Minprirody Rossii ot 11.08.2020 № 581 // Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08/11/2020 No. 581 on approval of the methodology for the development (calculation) and establishment of standards for permissible emissions of pollutants into atmospheric air // Official Internet Portal of Legal Information]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012300171> (Accessed 15 March 2025) (in Russian)

3. Shakhina N., Akula Kh., Friterm A. S. Air cooling systems at the entrance to gas turbine installations // Turbiny i dizeli [Turbines and diesels]. 2011. No. 2. pp. 8-11. Available at: <http://www.turbine-diesel.ru/sites/default/files/n2-2011/Friterm.pdf> (Accessed 20 October 2024) (in Russian)

4. MeeFog Systems. Available at: <https://www.meefog.com/our-blog/> (Accessed 20 October 2024) (in Russian)

УДК 332.145:338.2:502.131.1

**ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ESG-ПОВЕСТКИ
НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ХМАО-ЮГРЫ
(АО «ЮГРА-ЭКОЛОГИЯ»)**

**LEGAL REGULATION OF THE ESG AGENDA ON THE EXAMPLE
OF THE ACTIVITIES OF ENTERPRISES
OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA**

Клепикова Карина Алексеевна

40.03.01 Юриспруденция

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: carinaklepikova@yandex.ru

Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Аладко Олеся Ивановна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Karina A. Klepikova

40.03.01 Law

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: carinaklepikova@yandex.ru

Scientific adviser: Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Olesya I. Aladko

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В работе рассматривается современное состояние правового регулирования ESG-повестки в Российской Федерации. Отмечается, что, несмотря на отсутствие единого специализированного закона, в стране формируется комплексная нормативная база, основанная на стратегических документах правительства Российской Федерации, рекомендациях Центрального банка России и ведомственных методических указаниях. На примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и деятельности АО «Югра-Экология» проанализирована практическая реализация ESG-принципов на региональном уровне.

Ключевые слова: ESG, устойчивое развитие, нефинансовая отчетность, корпоративная социальная ответственность, экологическая политика, ХМАО-Югра.

Annotation. The article examines the current state of legal regulation of the ESG agenda (environmental, social, and governance responsibility) in the Russian Federation. It notes that, despite the absence of a single specialized law, a comprehensive regulatory framework is being formed in the country, based on strategic documents from the Russian Government, recommendations from the Bank of Russia, and departmental methodological guidelines. Using the example of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra and the activities of JSC «Yugra-Ecology,» the practical implementation

of ESG principles at the regional level is analyzed. The author concludes that, despite the fragmentation of regulation, the state is actively stimulating businesses to adopt sustainable practices through economic and administrative measures. The need for systematization of the legal framework by enshrining key ESG concepts and criteria at the federal level is identified as a future development prospect, which would create the foundation for a new model of corporate governance.

Keywords: ESG, sustainable development, non-financial reporting, corporate social responsibility, environmental policy, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra.

В последние годы в России и мире усиливается внимание к концепции устойчивого развития, в которой центральную роль играет повестка ESG как сочетание экологических, социальных и управленческих факторов. Несмотря на изменения международной ситуации, российские компании продолжают поддерживать соответствующие принципы, рассматривая их как внутренний инструмент повышения устойчивости бизнеса. В частности, на интернет-портале «РосБизнесКонсалтинг» отмечается, что более 70 % показателей национальных целей развития России прямо связаны с задачами устойчивого развития и что в отечественном бизнесе ESG-инициативы все чаще воспринимаются как инструмент модернизации, повышения энерго- и ресурсосбережения, а также формирования комфортной среды для сотрудников [1].

Несмотря на актуальность этой концепции, в Российской Федерации в настоящее время отсутствует единый нормативный правовой акт, прямо регулирующий ESG-повестку как самостоятельный институт, в отличие от некоторых государств, где действуют специальные законы об устойчивом развитии и корпоративной ответственности. На практике это выражается, в частности, в том, что обязательства по публикации нефинансовой отчетности в России не установлены, а установленные правовые основы в сфере экологии и промышленной безопасности неравнозначны системе ESG-отчетности. Тем не менее текущие изменения в регулировании показывают, что законодатель движется в сторону внедрения ESG-принципов.

Подтверждением этому служит формируемая в последние годы нормативно-правовая база, направленная на развитие устойчивого и «зеленого» развития, а также внедрение ESG-принципов (экологических, социальных и управленческих факторов) в деятельность хозяйствующих субъектов. Одним из ключевых документов в данной сфере стало распоряжение Правительства Российской Федерации № 1912-р, утвердившее стратегические цели и основные направления устойчивого развития страны в области экологической, социальной и экономической политики, акцентировав внимание на необходимости перехода к низкоуглеродной экономике [2].

Развитие ESG-повестки в финансовом секторе закреплено в Стратегии развития финансового рынка Российской Федерации до 2030 года [3], в которой отмечена важность интеграции принципов устойчивого развития в практику российских компаний. В этих документах подчеркивается готовность государств

венных органов и Центрального банка Российской Федерации (далее по тексту – Банк России; регулятор) создать условия для развития ESG-финансирования.

Отдельного внимания заслуживает нормативное регулирование в области «зеленых» проектов. Постановлением Правительства Российской Федерации утверждены критерии проектов устойчивого (в том числе «зеленого») развития и требования к системе верификации таких проектов [4]. Документ закрепляет классификацию проектов на «зеленые» и «адаптационные» в зависимости от степени их экологического воздействия. Существенный вклад в развитие правового регулирования ESG внесен принятием Климатической доктрины Российской Федерации [5] и федерального закона, направленного на проведение эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации [6]. Эти акты формируют основу для практической реализации государственной климатической политики и стимулируют переход к экологически ответственным моделям поведения хозяйствующих субъектов.

Банк России также разработал ряд методических и рекомендательных документов, направленных на интеграцию ESG-факторов в корпоративное управление. Так, в информационном письме регулятора содержатся рекомендации по учету советами директоров публичных компаний факторов устойчивого развития [7]. Аналогичные положения включены и в рекомендации по раскрытию нефинансовой информации, где организациям предлагается публиковать сведения о стратегии устойчивого развития, бизнес-модели и корпоративном управлении [8]. Кроме того, отдельные рекомендации адресованы финансовым организациям в части учета ESG-факторов при построении системы корпоративного управления [9]. Для оценки эффективности такого учета Минэкономразвития России утвердило методические рекомендации по подготовке отчетности об устойчивом развитии, где определены ключевые показатели по экологическому, социальному и управленческому направлениям [10].

Можно сделать вывод, что в настоящее время в России постепенно складывается комплексная правовая база, регулирующая внедрение ESG-принципов. Несмотря на то, что большая часть документов носит рекомендательный характер, их принятие свидетельствует о растущем внимании государства к вопросам устойчивого развития и стремлении к формированию единой правовой основы для экологически и социально ответственного бизнеса.

Очевидно, на федеральном уровне правовое регулирование ESG-повестки постепенно формирует основу для внедрения принципов устойчивого развития в деятельность предприятий различных отраслей. Однако не менее важно рассмотреть, как эти положения реализуются на региональном уровне, где экологические, социальные и управленческие факторы зачастую приобретают практическое значение в контексте конкретных территорий и хозяйствующих субъектов.

Наиболее показательным для такого анализа является Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. Выбор этого региона обусловлен двумя ключевыми факторами. Во-первых, автономный округ является одним из наиболее экологически уязвимых регионов России, поскольку его экономика во многом зависит

от нефтегазовой отрасли, что создает объективную потребность в применении ESG-повестки. Во-вторых, Югра демонстрирует опережающие темпы внедрения принципов устойчивого развития. По состоянию на апрель 2025 года округ признан лидером среди регионов Уральского федерального округа и вошел в число лучших субъектов России по уровню интеграции ESG, который оценен как продвинутый – наивысший показатель рейтинга [11].

Так, научная новизна работы заключается в выявлении механизма реализации установленных на федеральном уровне ESG-принципов на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: округ, несмотря на вышеупомянутую зависимость от нефтегазовой отрасли, демонстрирует наиболее показательный пример успешного внедрения данных принципов его компаниями. Он на практике успешно реализует актуальные общегосударственные задачи устойчивого развития и экологической ответственности.

В связи с этим в ХМАО-Югре формируется собственная система мер, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и повышение прозрачности деятельности предприятий. Одним из примеров реализации ESG-повестки на практике можно считать деятельность акционерного общества «Югра-Экология» – регионального оператора по обращению с отходами.

В отличие от федерального уровня, где ESG-требования пока не закреплены в отдельном нормативном акте и реализуются в основном через рекомендации Банка России и стратегические документы Правительства Российской Федерации, в ХМАО-Югре повестка приобретает прикладной характер через деятельность региональных предприятий. Одним из наиболее показательных примеров служит АО «Югра-Экология» – региональный оператор по обращению с отходами, выстроивший систему корпоративного управления на основе принципов ESG. Такой анализ деятельности АО «Югра-Экология» в рамках данного исследования стал возможен благодаря сборнику лучших практик предприятий Югры в части реализации ESG-повестки и концепции бережливого управления. О том, как именно применяются принципы повестки, далее расскажем подробнее.

На экологическом направлении («Е») компания реализует обязательства, вытекающие из федерального законодательства об обращении с отходами (в частности, из Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»), и одновременно внедряет дополнительные инициативы, направленные на минимизацию экологического следа. В рамках ESG-стратегии общество усилило требования к подрядчикам, организовало отдельный сбор макулатуры, батареек и пластика в офисах, а также участвует в климатическом проекте по высадке деревьев. Такой подход демонстрирует, что региональные предприятия могут выступать инструментом практического исполнения государственных целей устойчивого развития, несмотря на отсутствие прямого нормативного обязательства по ESG-отчетности. Эффективность экологической составляющей в деятельности АО «Югра-Экология» проявляется в снижении числа жалоб населения, улучшении состояния территорий округа и постепенном формировании культуры обращения с отходами среди жителей округа.

Социальное измерение («S») в компании выражается в политике по отношению к сотрудникам. Для снижения текучести кадров и повышения вовлеченности работников АО «Югра-Экология» внедрило KPI-систему, обеспечивает корпоративное питание, организует транспорт для подвоза сотрудников, развивает спортивную и культурную жизнь коллектива. Особое внимание уделено партнерству с образовательными организациями региона: общество взаимодействует с высшими заведениями и учреждениями среднего профессионального образования по программе «Профессионалитет», трудоустраивая молодых специалистов. Эти меры способствуют укреплению кадрового потенциала региона и формированию положительного имиджа компании как работодателя. Так, практика компании демонстрирует, что успешное внедрение ESG-подхода возможно при условии социальной ориентации бизнеса и его участия в жизни работников.

Управленческая составляющая («G») реализуется через повышение прозрачности корпоративных процессов и интеграцию устойчивого развития в стратегию компании. АО «Югра-Экология» разработало и внедрило документы, направленные на предотвращение коррупции и конфликтов интересов, а также обновило положение о закупках с учетом ESG-показателей. Дополнительно компания сотрудничает с Югорским государственным университетом, внедряя lean-технологии и повышая квалификацию сотрудников в области ESG-повестки. Это подчеркивает, как хозяйствующие субъекты могут сделать соответствующие принципы частью корпоративной политики и культуры, внедряя их не просто в отдельные аспекты деятельности компании.

Анализ успешности реализованных практик позволяет сделать вывод о высоком уровне адаптации компании к принципам ESG. Несмотря на сохраняющиеся проблемы – например, неполное внедрение использования вторичного сырья или сохранение гендерного разрыва в руководящих позициях, частичное внедрение экологических требований среди поставщиков, – система управления АО «Югра-Экология» демонстрирует устойчивую динамику.

Интеграция экологических, социальных и управленческих аспектов позволила повысить доверие со стороны населения и партнеров, укрепить репутацию предприятия. В перспективе развитие взаимодействия с образовательными учреждениями и расширение просветительских инициатив, как проект «Югра собирает», создает потенциал для масштабирования ESG-повестки на уровне всего округа.

Анализ практической реализации ESG-повестки в деятельности российских предприятий, в том числе АО «Югра-Экология», показывает, что переход к устойчивым моделям управления становится неотъемлемой частью современной экономической политики [13]. Несмотря на то, что федеральное правовое регулирование ESG в России пока не оформлено в виде единого системного акта, государство создает условия, стимулирующие бизнес к внедрению принципов устойчивого развития.

Говоря о стимулировании такого внедрения, стоит сказать, что в последние годы предпринимаются конкретные меры, направленные на поддержку компа-

ний, ориентированных на экологическую и социальную ответственность. Так, предприятия, внедряющие энергоэффективные технологии и демонстрирующие высокий уровень заботы о сотрудниках, получают государственные субсидии. С 2023 года часть средств от экологического сбора направляется на поддержку компаний и индивидуальных предпринимателей, выпускающих продукцию из переработанных отходов. Кроме того, в рамках национального проекта «Чистый воздух» предприятия топливно-энергетического комплекса могут привлекать льготные кредиты под 3 % годовых для модернизации производственных мощностей, что напрямую способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду. Важную роль играет и система налоговых вычетов для организаций, осуществляющих благотворительные взносы через официальные фонды, что стимулирует развитие социальной ответственности бизнеса.

Эти меры демонстрируют, что государство использует не только административные, но и экономические механизмы воздействия для внедрения ESG-принципов. Однако для закрепления устойчивого результата необходима систематизация правового регулирования: определение на федеральном уровне понятий «устойчивое развитие», «ESG-факторы», «нефинансовая отчетность», а также разработка единых критериев оценки корпоративной ответственности. Отсутствие правовой определенности снижает сопоставимость показателей между предприятиями, затрудняет реализацию долгосрочных стратегий и ослабляет потенциал государственной поддержки.

Таким образом, формирование комплексного правового механизма регулирования ESG-повестки должно стать одним из ключевых направлений государственной политики в области экологии и предпринимательства. Его внедрение позволит объединить инициативы бизнеса и государства в рамках единой стратегии, обеспечивающей экологическую безопасность, социальную устойчивость и экономическую эффективность. Для предприятий, подобных АО «Югра-Экология», развитие нормативной базы откроет возможности для системного внедрения соответствующих практик в каждом регионе, повышения инвестиционной привлекательности хозяйствующих субъектов и участия в программах федерального уровня. По сути, правовое закрепление ESG-принципов является основой формирования новой модели корпоративного управления, оформленной законодательно.

Список источников

1. Почему ESG-принципы остаются важными для российских компаний // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/68021ac09a79475e901da26f> (дата обращения: 01.11.2025).
2. Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации : Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 № 1912-р // Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_390943/ (дата обращения: 01.11.2025).

3. Об утверждении Стратегии развития финансового рынка РФ до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ от 29.12.2022 № 4355-р (ред. от 21.12.2023) // Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_436693/ (дата обращения: 01.11.2025).

4. Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации : Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 // Официальное опубликование правовых актов. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109240043> (дата обращения: 01.11.2025).

5. Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации : Указ Президента РФ от 26.10.2023 № 812 // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529/> (дата обращения: 01.11.2025).

6. О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации : Федеральный закон от 06.03.2022 № 34-ФЗ // Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411051/ (дата обращения: 12.11.2025).

7. О рекомендациях по учету советом директоров публичного акционерного общества ESG-факторов, а также вопросов устойчивого развития : Информационное письмо Банка России от 16.12.2021 № ИН-06-28/96 // Банк России. URL: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (дата обращения: 12.11.2025).

8. О рекомендациях по раскрытию публичными компаниями нефинансовой информации, связанной с деятельностью в области ESG : Информационное письмо Банка России от 28.12.2022 № ИН-02-28/145 // Банк России. URL: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (дата обращения: 12.11.2024).

9. О рекомендациях по учету финансовыми организациями ESG-факторов, а также вопросов устойчивого развития при организации корпоративного управления : Информационное письмо Банка России от 28.12.2022 № ИН-02-28/145 // Банк России. URL: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (дата обращения: 12.11.2024).

10. Методические рекомендации по подготовке отчетности об устойчивом развитии : Приказ Минэкономразвития России от 01.11.2023 № 764. // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407855987/> (дата обращения: 01.11.2025).

11. Югра занимает лидирующие позиции по внедрению ESG-принципов // Департамент экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. URL: <https://depeconom.admhmao.ru/vse-novosti/11175458/> (дата обращения: 13.11.2025).

12. Практика АО «Югра-Экология» // Сборник лучших практик предприятий Югры в части реализации ESG-повестки и концепции бережливого управления. Ханты-Мансийск, 2025. С. 35–48.

References

1. *Pochemu ESG-printsipy ostaiutsia vazhnymi dlia rossiiskikh kompanii* // RBK [Why ESG principles remain important for Russian companies // RBC]. Available at: <https://www.rbc.ru/industries/news/68021ac09a79475e901da26f> (Accessed 01 January 2025) (in Russian)
2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 07/14/2021 No. 1912-r “On approval of the goals and main directions of sustainable (including green) development of the Russian Federation”. *Spravочно-pravovaia sistema «Konsul'tant Plius»*. [Reference and legal system «Consultant plus»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_390943/ (Accessed 01 November 2025) (in Russian)
3. Decree of the Government of the Russian Federation dated December 29, 2022 No. 4355-r (as amended on December 21, 2023) “On approval of the Strategy for the development of the financial market of the Russian Federation until 2030”. *Spravочно-pravovaia sistema «Konsul'tant Plius»*. [Reference and legal system «Consultant plus»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_436693/ (Accessed 01 November 2025) (in Russian)
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated 09/21/2021 No. 1587 “On approval of criteria for sustainable (including green) development projects in the Russian Federation and requirements for the verification system for financing sustainable development in the Russian Federation”. // Collection of Legislation of the Russian Federation. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109240043> (Accessed 01 November 2025) (in Russian)
5. Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2023 No. 812 “On the approval of the Climate Doctrine of the Russian Federation”. *Spravочно-pravovaia sistema «Garant»*. [Reference and legal system «Garant»]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529/> (Accessed 01 November 2025) (in Russian)
6. Federal Law No. 34-FZ dated 03/06/2022 “On conducting an experiment to limit greenhouse gas emissions in Certain Regions of the Russian Federation”. *Spravочно-pravovaia sistema «Konsul'tant Plius»*. [Reference and legal system «Consultant plus»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411051/ (Accessed 12 November 2025) (in Russian)
7. *O rekomendatsiiakh po uchetu sovetom direktorov publichnogo aktsionernogo obshchestva ESG-faktorov, a takzhe voprosov ustoichivogo razvitiia : Informatsionnoe pis'mo Banka Rossii ot 16.12.2021 № IN-06-28/96* // Bank Rossii. [On recommendations on consideration by the Board of Directors of Public Joint Stock Company of ESG factors, as well as issues of sustainable development: Information Letter of the Bank of Russia dated 12/16/2021 No. IN-06-28/96. // Bank of Russia]. Available at: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (Accessed 12 November 2025) (in Russian)

8. *O rekomendatsiakh po raskrytiyu publichnymi kompaniyami nefinansovoi informatsii, svyazannoi s deiatel'nost'yu v oblasti ESG : Informatsionnoe pis'mo Banka Rossii ot 28.12.2022 № IN-02-28/145 // Bank Rossii.* [On recommendations on disclosure by public companies of non-financial information related to ESG activities: Information Letter of the Bank of Russia dated 12/28/2022 No. IN-02-28/145. // Bank of Russia]. Available at: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (Accessed 12 November 2025) (in Russian)

9. *O rekomendatsiakh po uchetu finansovymi organizatsiyami ESG-faktorov, a takzhe voprosov ustoichivogo razvitiia pri organizatsii korporativnogo upravleniia : Informatsionnoe pis'mo Banka Rossii ot 28.12.2022 № IN-02-28/145 // Bank Rossii.* [On recommendations on accounting for ESG factors by financial organizations, as well as issues of sustainable development in the organization of corporate governance: Information Letter of the Bank of Russia dated 12/28/2022 No. IN-02-28/145. // Bank of Russia] Available at: https://cbr.ru/issuers_corporate/development_corp_relations/recom/ (Accessed 12 November 2025) (in Russian)

10. Order No. 764 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated 11/01/2023 on Guidelines for the preparation of sustainable development reports // *Spravochno-pravovaya sistema «Garant».* [Reference and legal system «Garant»]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407855987> (Accessed 01 November 2025) (in Russian)

11. *Iugra zanimaet lideriushchie pozitsii po vnedreniiu ESG-printsipov // Departament ekonomicheskogo razvitiia Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Iugry.* [Ugra holds a leading position in the implementation of ESG principles // Department of Economic Development of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra]. Available at: <https://depeconom.admhmao.ru/vse-novosti/11175458/> (Accessed 13 November 2025) (in Russian)

12. The practice of Yugra-Ecology JSC. *Sbornik luchshikh praktik predpriatii Iugry v chasti realizatsii ESG-povestki i kontseptsii berezhlivogo upravleniia.* [Collection of best practices of Yugra enterprises in terms of implementing the ESG agenda and the concept of lean management]. Yugra State University, 2025, pp. 36-49.

УДК 502.131:622.691.4

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ:
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY OF GAS TRANSPORTATION SYSTEMS
IN THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA:
MODERN TECHNOLOGIES AND PROSPECTS**

Мозер Даниил Евгеньевич

05.04.06 Экология и природопользование

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: d.mozer2015ru@yandex.ru

Научный руководитель: канд. геогр. наук,

доцент Антюфеева Татьяна Валерьевна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Daniil Y. Mozer

05.04.06 Ecology and nature management

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: d.mozer2015ru@yandex.ru

Scientific adviser: Candidate of Geographical Sciences,

Associate Professor Tatiana V. Antyufeeva

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Исследование экологической безопасности газотранспортных систем Ханты-Мансийского автономного округа – Югры выявило основные источники загрязнения: выбросы NO_x , CO , CH_4 и снижение энергоэффективности оборудования. Внедрение современных технологий, таких как малоэмиссионные камеры сгорания, на объектах – газотранспортных системах позволило сократить выбросы NO_x , CH_4 и CO_2 в 4–5 раз (со 160 до 30 тонн в год в расчете на 1 КЦ (далее – КЦ)). Результаты исследования подтверждают, что применение инновационных решений способствует минимизации экологических рисков и повышению энергоэффективности газотранспортных систем.

Ключевые слова: экологическая безопасность, газотранспортные системы, современные технологии, выбросы, энергоэффективность, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Annotation. Research on the environmental safety of gas transmission systems in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra identified the main pollution sources: emissions of NO_x , CO , CH_4 and decreased energy efficiency of equipment. The implementation of modern technologies such as low-emission combustion chambers

reduced NO_x, CH₄ and CO₂ emissions by 4-5 times (from 160 to 30 tons per year per compressor station). The research results confirm that applying innovative solutions for implementing low-emission combustion chambers helps minimize environmental risks and improve energy efficiency of gas transmission systems.

Keywords: environmental safety, gas transmission systems, modern technologies, emissions, energy efficiency, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра является основным нефтегазовым районом России и одним из крупнейших нефтедобывающих регионов мира. Предприятия автономного округа своей деятельностью формируют существенную часть российской экономики: около 7,5 % промышленного производства и 15,1 % доходов государственного бюджета [1]. В наибольшей степени это происходит за счет предприятий нефтегазового комплекса автономного округа. Однако именно газовая и нефтяная промышленность обладает высокой экологической опасностью по масштабу и физическому воздействию на окружающую среду.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью применения современных технологий, которые позволяют снижать выбросы и повышать экологическую безопасность газотранспортных систем. Протяжённость магистральных газопроводов в регионе огромна – более 16, 4 тыс. км, а степень их изношенности составляет более 60 %, что увеличивает потенциальные экологические риски возникновения неблагоприятной экологической ситуации.

Объектом исследования являются газотранспортные системы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Предметом исследования является использование современных технологий для обеспечения экологической безопасности газотранспортных систем Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Одной из основных компаний, занимающихся транспортировкой газа на территории Ханты-Мансийского автономного округа, является дочерняя компания ПАО «Газпром» – ООО «Газпром трансгаз Югорск». На балансе компании в настоящее время 1151 газоперекачивающий агрегат (далее – ГПА), из них 101 находится на стадии ликвидации (таблица 1) [2].

Таблица 1 – Показатели парка ГПА ООО «Газпром трансгаз Югорск» [2]

Тип ГПА	Мощность, кВт	КПД, %	По парку	
			шт.	МВт
ГПА мощностью до 10 МВт				
ГТ-6-750	6000	24,0	89	534
ГТ-750-6	6000	270	30	180
ГПА мощностью 10–16 МВт				
ГПА-10-01	10000	27,6	79	790
ГТК-10-4	10000	29,0	305	3050

Продолжение таблицы 1

ГТК-10И	10000	25,8	5	50
ПЖТ-10	10000	31,0	24	240
ГПА-12Р Урал	12000	34,0	16	192
ГПУ-16	16000	30,0	14	224
ГТН-16	16000	29,0	60	960
ГПА-Ц-16	16000	30,0	391	6256
ГПА-Ц1-16С	16000	33,5	8	128
ГПА-Ц-16РС	16000	38,0	1	16
ГПА-16-Волга	16000	33,5	5	80
ГПА-12Р Урал	16000	34,0	12	192
ГПА-Ц-16 РН	16000	37,0	5	80
ГПА-16 Арлан	16000	37,0	8	128
ГПА мощностью 25 МВт				
ГТК-25И	24000	27,7	63	
ГТН-25/76	25000	30,0	12	
ГПА-25ДН80	25000	35,0	24	
Всего			1151	
Средневзвешенный КПД, %			31,7	

При эксплуатации газотурбинной установки (далее – ГТУ) на ГПА происходят залповые выбросы загрязняющих веществ (углерода оксид, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, сажи и др.). Выбросы в атмосферный воздух осуществляются путем попадания пускового газа для работы турбодетандера: газа, затрачиваемого на продувку контура нагнетателя, и затрат импульсного газа, применяемого для работы технических кранов (таблица 2).

Таблица 2 – Средний расход газа по составляющим операций пуска и останова ГПА [3]

Наименование операции	Средний расход природного газа	
	м³	доля от общих затрат на пуск-останов, %
Расход газа на работу турбодетандера	4100	77,9
Расход газа на продувку контура нагнетателя	61	1,2
Объем газа, сбрасываемого из контура нагнетателя	1053	20
Расход импульсного газа в режиме пуска-останова	50	0,9
ИТОГО на пуск-останов	5264	100

При работе турбодетандера (пускового устройства) и продувке контура нагнетателя происходит наибольшее количество выбросов природного газа, которое достигает 98 % [3].

Также, помимо выбросов загрязняющих веществ от работы ГПА, большую роль в общем количестве выбросов играет техническое состояние и изношенность парка ГПА.

Около 5,1 % ГПА находится в эксплуатации менее 20 лет, 54,2 % ГПА эксплуатируются в возрасте от 20 до 35 лет, возраст 38,9 % ГПА превышает 35 лет [2] (рисунок 2).

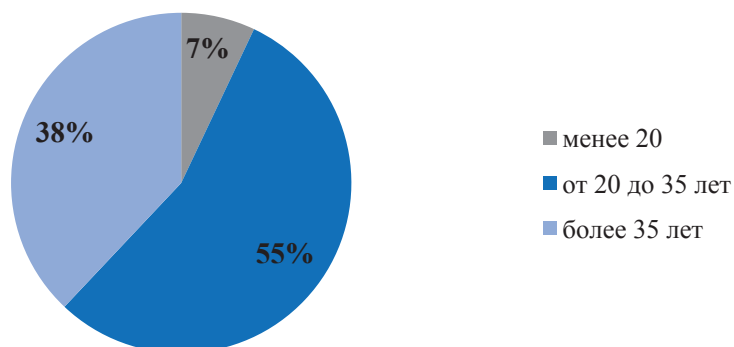


Рисунок 2 – Возрастная структура ГПА в ООО «Газпром трансгаз Югорск» (составлено автором)

По состоянию на 01.04.2022 г. 75 % компрессорного парка общества (856 шт.) выработали назначенный ресурс 100 тыс. часов (рисунок 3).

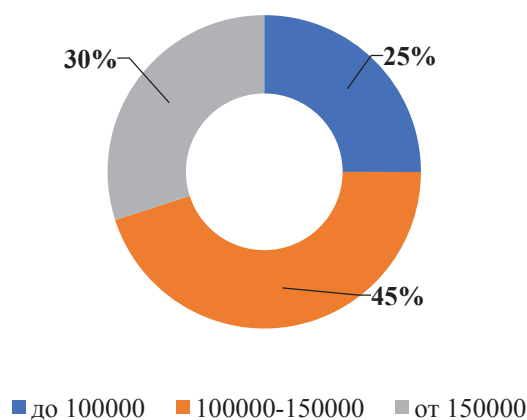


Рисунок 3 – Наработка парка ГПА в ООО «Газпром трансгаз Югорск» (составлено автором)

В ходе исследования было выявлено, что старение компрессорного парка снижает его функциональность. Наблюдаются следующие изменения:

- снижается энергоэффективность транспорта газа за счет уменьшения располагаемой мощности (на 5–25 %) и КПД ГТУ (на 6–22 %);
- снижается эффективность организации технологического процесса транспортировки газа и не обеспечивает требуемую надежность газотурбинных ГПА;
- увеличиваются безвозвратные потери смазочных масел;
- растет стоимость и время нахождения агрегатов в ремонте;
- повышаются выбросы NOx и CO в атмосферу;
- увеличиваются риски аварийных остановок (при температуре на входе 35 °С вероятность срабатывания систем аварийной защиты возрастает в 2,3 раза).

Для наиболее лучшего обеспечения экологической безопасности газотранспортных систем был проведен комплексный анализ современных технологий, в результате которого определено оптимальное направление модернизации – использование малоэмиссионных камер сгорания в ГПА.

Эффективность таких систем подтверждается впечатляющими цифрами: содержание NO_x в выхлопных газах снижается с 300–500 до 15–50 мг/м^3 , угарного газа – с 150–300 до 10–30 мг/м^3 , а выбросы сажи практически полностью устраняются. При этом достигается дополнительный экономический эффект за счет снижения расхода топлива на 5–7 % благодаря оптимизации процессов горения (таблица 3) [4].

Таблица 3 – Сравнение выбросов традиционных и малоэмиссионных камер [4]

Параметр	Традиционная камера	Малоэмиссионная камера	Снижение, %
NO_x , мг/м^3	300–500	15–50	90 %
CO , мг/м^3	150–300	10–30	95 %
Сажа, мг/м^3	50–100	<1	99 %
CH_4 (несгоревший)	5–10	<1	90 %

Малоэмиссионные камеры сгорания в газоперекачивающих агрегатах представляют собой сложные инженерные решения, разработанные для кардинального снижения вредных выбросов при транспортировке природного газа (рисунок 4). В основе их работы лежит принцип предварительного смешения газа и воздуха в строго контролируемых пропорциях, что обеспечивает гомогенное горение без локальных перегревов – основных источников образования оксидов азота. Современные камеры сгорания поддерживают температуру пламени на уровне 800–1000 °С вместо традиционных 1300–1500 °С, что кардинально снижает термическое образование NO_x [5].

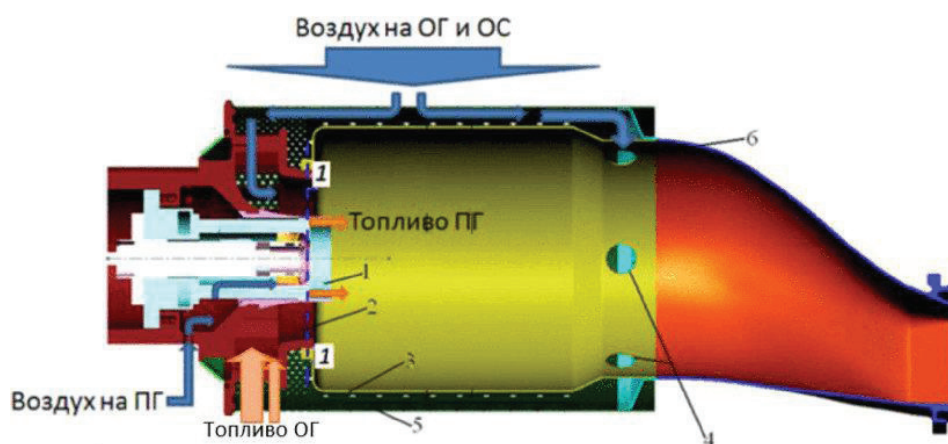


Рисунок 4 – Схема камеры сгорания ГТУ [6]

Данные малоэмиссионные камеры сгорания были уже внедрены на некоторых компрессорных станциях ООО «Газпром трансгаз Югорск». Исходя из

этого, был проведен анализ, основанный на данных с компрессорной станции Ужгородская, входящей в состав Комсомольского линейно-производственного управления. Полученные результаты показали, что в компрессорных цехах № 2, 3 количество валовых выбросов загрязняющих веществ (NO , CO , NO_2) в 4–5 раз меньше (30–40 т/год), чем в КЦ № 1,4 (140–160 т/год). Снижение выбросов загрязняющих веществ было достигнуто благодаря установке в КЦ № 2, 3 современных малоэмиссионных камер сгорания ПСТ-90 (рисунок 5).

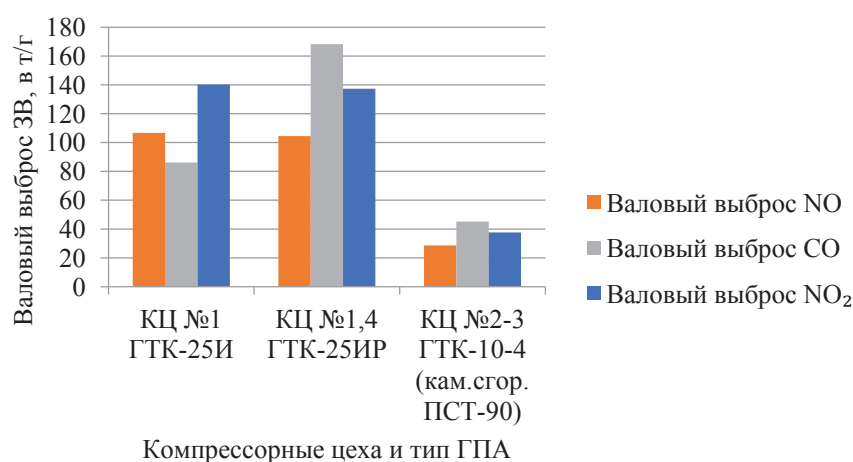


Рисунок 5 – График сравнения распределения объемов выбросов загрязняющих веществ (цех 1–4) (составлено автором)

Таким образом, внедрение современных технологий, таких как использование малоэмиссионных камер сгорания, демонстрирует значительный экологический потенциал в области экологической безопасности газотранспортных систем. Результаты исследования показали, что применение данного метода в качестве современной технологии для других нефтегазовых компаний ХМАО-Югры и РФ позволит сократить выбросы NO_x , CH_4 и CO_2 в 4–5 раз (со 160 до 30 тонн в год в расчете на 1 КЦ), что критически важно для минимизации вклада нефтегазовой отрасли в изменение климата.

Список источников

1. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2023 году // Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов мира, домашних животных и лесных отношений ХМАО-Югры. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/> (дата обращения: 14.05.2025).
2. Газпром трансгаз Югорск. Программа инновационного развития на период до 2032 года : [внутренний документ]. Югорск, 2023.
3. Тухбатуллин Ф. Г. Система поддержки решений по обеспечению эксплуатационной надежности и экологической безопасности работы технического оборудования магистральных газопроводов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1998. 363 с.

4. Лапина Т. А. Усовершенствование установок, снижающих выбросы загрязняющих вредных веществ в атмосферу на ООО «Газпром трансгаз Самара» : магистерская диссертация. Тольятти, 2025. 70 с.

5. Снитко М. А. [и др.]. Передовые технологии малоэмиссионного горения в действии // Турбины и дизели. 2023. № 2 (107). С. 4–7.

6. ИТС 38-2022. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии : утв. Приказом Росстандарта от 20.12.2022 № 3227 : введ. в действие с 01.03.2023. – Москва : Стандартинформ, 2022. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/zaklyuchenie/0/its_38-2022_informatsionno-tekhnicheskii_spravochnik_po.html (дата обращения: 10.06.2025).

References

1. Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge – Iugre v 2023 godu // Sluzhba po kontroliu i nadzoru v sfere okhrany okruzhaiushchei sredy, ob»ektov mira, domashnikh zhivotnykh i lesnykh otnoshenii KhMAO-Iugry. [Report on the environmental situation in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra in 2023 // Service for Control and Supervision in the field of environmental protection, peace facilities, domestic animals and forest Relations of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra]. Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/> (Accessed 14 May 2025) (in Russian)

2. Gazprom Transgaz Yugorsk. Programma innovatsionnogo razvitiia na period do 2032 goda : [vnutrennii dokument]. [The program of innovative development for the period up to 2032 : [internal document]]. Yugorsk, 2023.

3. Tukhbatullin F. G. Decision support system for ensuring operational reliability and environmental safety of technical equipment of main gas pipelines. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow, 1998, 363 p. (in Russian)

4. Lapina T. A. Improvement of installations that reduce emissions of pollutants into the atmosphere at Gazprom Transgaz Samara LLC. Master's thesis. Togliatti, 2025, 70 p. (in Russian)

5. Snitko M. A [et al.]. Advanced low-emission combustion technologies in action Gorenje. Turbiny i dizeli [Turbines and diesels]. 2023. No. 2 (107), pp. 4-7. (in Russian)

6. ITS 38-2022. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiiam. Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tseliakh proizvodstva energii. [ITS 38-2022. Information and technical handbook on the best available technologies. Burning of fuel in large installations for energy production. Approved by Rosstandart Order No. 3227 dated 12/20/2022 : introduction. Effective from 03/01/2023]. – Moscow : Standartinform, 2022. Available at: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/zaklyuchenie/0/its_38-2022_informatsionno-tekhnicheskii_spravochnik_po.html (Accessed 10 June 2025) (in Russian)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

ENVIRONMENTAL SAFETY IN A RESOURCE-PRODUCING REGION

Рудницкий Сергей Иванович

5.1.4. Уголовно-правовые науки

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: s_rudnitskiy@ugrasu.ru

Sergey I. Rudnitsky

5.1.4. Criminal Law

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: s_rudnitskiy@ugrasu.ru

Аннотация. Исследование посвящено обеспечению экологической безопасности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре как ключевому ресурсодобывающему региону России. Определяются основные экологические риски, обусловленные нефтегазодобычей, анализируются правовые и организационные механизмы их минимизации. Сформулированы направления усиления экологического контроля, развития мониторинга и внедрения технологий рационального недропользования.

Ключевые слова: экологическая безопасность, ХМАО-Югра, экологические преступления, нефтегазовая промышленность, рациональное природопользование, устойчивое развитие, техногенные риски, региональная экологическая политика.

Annotation. The study is devoted to ensuring environmental safety in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra as a key resource-producing region of Russia. The main environmental risks caused by oil and gas production are determined, the legal and organizational mechanisms of their minimization are analyzed. The directions of strengthening environmental control, development of monitoring and implementation of technologies of rational subsurface use are formulated.

Keywords: environmental safety, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, environmental crimes, oil and gas industry, rational use of natural resources, sustainable development, technogenic risks, regional environmental policy.

Экологическая безопасность в условиях ресурсодобывающего региона предполагает комплексную систему социально-правовых, организационных и технологических мер, направленных на предотвращение деградации природной среды и сохранение экологического баланса. В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре приоритетным направлением выступает регулирование

воздействия нефтегазодобывающей отрасли, которая является ключевым сегментом региональной экономики. Природно-ресурсный потенциал территории отличается высокой уязвимостью вследствие особенностей климатической зоны, преобладания болотно-лесных экосистем и значительного уровня водонасыщенности почв, что усиливает последствия промысловой деятельности.

Добыча углеводородного сырья сопровождается рисками загрязнения почв и водных объектов нефтепродуктами, изменением гидрологического режима, разрушением почвенного покрова вследствие промышленного строительства и транспортной инфраструктуры, а также накоплением техногенных отходов. Особую опасность представляют аварийные разливы нефти, приводящие к длительным негативным изменениям биогеоценозов и требующие значительных ресурсов для восстановления. В этих условиях система экологической безопасности должна основываться на принципах превентивного контроля, строгого соблюдения природоохранных норм и внедрения технологий, минимизирующих воздействие на окружающую среду.

Существенное значение имеет развитие системы экологического мониторинга, позволяющей своевременно выявлять загрязнение и отслеживать динамику техногенного воздействия. Создание единого регионального комплекса наблюдения за состоянием окружающей среды, интеграция данных государственных и корпоративных систем контроля, а также цифровизация экологического надзора выступают важнейшими элементами обеспечения экологической стабильности.

Кроме того, эффективное функционирование системы экологической безопасности возможно только при условии участия предприятий топливно-энергетического комплекса, которые обязаны внедрять современные природоохранные технологии, осуществлять экологическую модернизацию производственных процессов и обеспечивать безопасное обращение с отходами добычи.

Важным аспектом является формирование экологической культуры населения и корпоративной ответственности бизнеса. Реализация программ экологического просвещения, экологический аудит, внедрение стандартов «зеленого» управления и расширение практики общественного контроля способствуют повышению эффективности региональной экологической политики.

Исследование экологической безопасности ресурсодобывающих регионов опирается на широкий круг научных подходов, подчеркивающих необходимость комплексного и междисциплинарного анализа. В работах А. А. Саломатова, Г. Н. Пряхина и Н. В. Малыгина обосновано, что устойчивое развитие территорий с интенсивным промышленным освоением возможно только при условии соблюдения баланса между экономическими и природоохранными интересами, где хозяйственно-технологические факторы выступают ключевым элементом системы эколого-экономической безопасности региона [1, с. 72–74].

Существенный вклад в научную дискуссию вносят исследования Н. М. Самутина, В. О. Воробьева, Н. Н. Буторина, выявивших прямую зависимость между технологическими особенностями нефтегазового производства в Ханты-Мансийском автономном округе и ростом техногенной нагрузки на природную среду,

что проявляется в загрязнении почв и водных объектов, нарушении экологического контроля при утилизации буровых отходов и негативном влиянии на здоровье населения региона [2, с. 35].

В свою очередь, А. Р. Махов и его соавторы рассматривают экологические правонарушения как существенную угрозу общественной и экологической безопасности, подчеркивая необходимость усиления государственного контроля, ужесточения ответственности и повышения уровня экологического правосознания для предотвращения разрушительных последствий преступлений в природоохранной сфере [3, с. 521]. Эти научные позиции подтверждают, что эффективное обеспечение экологической безопасности ресурсодобывающего региона требует системного правового регулирования, развития экологического мониторинга, технологической модернизации и повышения ответственности корпоративных субъектов, а также формирования культуры экологической безопасности на всех уровнях регионального управления.

Дальнейшее повышение уровня экологической безопасности региона требует совершенствования нормативно-правовой базы и механизмов ее реализации. Нормативное регулирование в области охраны окружающей среды в Ханты-Мансийском автономном округе формируется на основе федерального законодательства и региональных актов, регламентирующих рациональное природопользование, предотвращение ущерба экосистемам и восстановление нарушенных территорий. Вместе с тем анализ практики правоприменения свидетельствует о необходимости усиления контролирующих функций, расширения ответственности предприятий за нарушение природоохранных требований, а также разработки механизмов стимулирования экологически ориентированных инициатив и внедрения инновационных технологий добычи углеводородов.

Особое внимание должно быть уделено процессам рекультивации нарушенных земель, ликвидации загрязненных участков и восстановлению природных комплексов. В условиях Югры эти мероприятия осложняются спецификой климатических условий и низкой скоростью естественной регенерации экосистем, что требует стратегического подхода к ликвидации экологических последствий промышленной деятельности. Применение биотехнологий, использование природосберегающих методов восстановления, а также повышение эффективности контроля за качеством рекультивации выступают обязательными элементами региональной экологической политики.

В системе обеспечения экологической безопасности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры важное место занимает региональное регулирование природоохранной деятельности, предусматривающее экономические стимулы для предприятий, внедряющих экологическую инфраструктуру. Постановление правительства округа от 27 декабря 2021 г. № 629-п (далее по тексту – Постановление), вносящее изменения в постановление № 511-п, конкретизирует перечень основных фондов природоохранного назначения, являющихся основанием для применения налоговой льготы по налогу на имущество организаций [4].

Постановление детализирует категории объектов, направленных на охрану атмосферного воздуха, очистку сточных вод, обращение с отходами, защиту земель и водных ресурсов, а также снижение физических воздействий на окружающую среду. Включение в перечень высокотехнологичных систем очистки, мониторинга и экологической инфраструктуры свидетельствует о формировании стимулирующей модели региональной экологической политики, побуждающей недропользователей к применению природоохранных решений и повышению технологического уровня экологической безопасности. Данный подход способствует развитию механизмов устойчивого природопользования, снижению техногенной нагрузки и повышению ответственности хозяйствующих субъектов в условиях ресурсодобывающей специализации округа.

Значительную роль в обеспечении экологической безопасности играет формирование эффективной системы взаимодействия органов государственной власти, местного самоуправления, бизнеса и институтов гражданского общества. Общественный контроль, экологическое волонтерство, участие научных организаций и общественных объединений в мониторинге состояния окружающей среды создают условия для общественной экологической ответственности и устойчивого развития региона. Совместные проекты предприятий и экологических институтов, направленные на восстановление природных территорий и развитие экологического туризма, представляют собой перспективные меры, способствующие формированию экологически ориентированной региональной экономики.

Нельзя не отметить и значение цифровых технологий для обеспечения экологической безопасности. Внедрение систем дистанционного контроля за состоянием почв, водных объектов и атмосферного воздуха, использование спутникового мониторинга, создание цифровых карт экологических рисков и применение искусственного интеллекта для моделирования последствий техногенного воздействия позволяют повысить оперативность и точность анализа экологической ситуации [5, с. 145–148]. Такие инструменты обеспечивают возможность раннего выявления отклонений, предотвращения аварийных ситуаций и повышения эффективности природоохранных решений.

Таким образом, экологическая безопасность Ханты-Мансийского автономного округа – Югры формируется на основе комплексной системы правовых, организационных, технологических и социальных механизмов. Регион сталкивается с высокими техногенными нагрузками, однако обладает значительным потенциалом для развития устойчивых природоохранных практик. Реализация стратегий рационального природопользования, цифровизация экологического контроля, повышение экологической ответственности бизнеса и граждан, а также развитие регионального экологического законодательства являются ключевыми направлениями обеспечения устойчивого развития в условиях ресурсодобывающей экономики.

Список источников

1. Саламатов А. А., Пряхин Г. Н., Малыгин Н. В. Хозяйственно-технологические факторы обеспечения эколого-экономической безопасности региона // Вестник Челябинского государственного университета. 2023. № 11 (481). С. 67–78.
2. Самутин Н. М., Воробьев В. О., Буторина Н. Н. Влияние нефтегазовой промышленности на экологическую безопасность и здоровье населения в ХМАО-Югре // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92, № 5. С. 34–36.
3. Махов А. Р., Агаджанян Э. М., Бетуганов А. А. Экологические преступления как угроза экологической безопасности // Аграрное и земельное право. 2025. № 2. С. 520–522.
4. О внесении изменения в постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 29 декабря 2011 года № 511-п «О перечне объектов основных фондов природоохранного назначения в целях применения льготы по налогу на имущество организаций» : Постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры № 629-п от 27 декабря 2021 г. // URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/prirodopolzovatelyam/normativno-pravovye-akty/6658532/-629-p/> (дата обращения: 28.10.2025).
5. Грипич С. А. Состояние и перспективы развития российского законодательства в сфере устойчивого развития в эпоху цифровизации // Lex Russica (Русский закон). 2025. Т. 78, № 8 (225). С. 143–156.

References

1. Salamatov A. A., Priakhin G. N., Malygin N. V. Economic and technological factors of ensuring the ecological and economic security of the region. *Vestnik Cheliabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Chelyabinsk State University]. 2023. No. 11 (481), pp. 67-78. (in Russian)
2. Samutin N. M., Vorob'ev V. O., Butorina N. N. The impact of the oil and gas industry on environmental safety and public health in Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra. *Gigiena i sanitaria* [Hygiene and sanitation]. 2013. Vol. 92. No. 5, pp. 34-36. (in Russian)
3. Makhov A. R., Agadzhanian E. M., Betuganov A. A. Environmental crimes as a threat to environmental safety. *Agrarnoe i zemel'noe pravo* [Agrarian and land law]. 2025. No. 2, pp. 520-522. (in Russian)
4. Resolution of the Government of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra No. 629-p dated December 27, 2021 “On amendments to the Resolution of the Government of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra dated December 29, 2011 No. 511-p “On the List of fixed Assets for environmental protection purposes in order to Apply the Corporate Property Tax Relief”. Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/prirodopolzovatelyam/normativno-pravovye-akty/6658532/-629-p/> (Accessed 10 October 2025) (in Russian)

5. Gripich S. A. The state and prospects of development of Russian legislation in the field of sustainable development in the era of digitalization. *Lex Russica (Russkii zakon)* [Lex Russica (Russian Law)]. 2025. Vol. 78, No. 8 (225), pp. 143-156.

УДК 332.14:621.3.016.3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

FORECASTING TIME SERIES USING AN ELECTRIC LOAD GRAPH

Бетев Денис Владимирович

2.4.3 Электроэнергетика

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: betevdv@rambler.ru

Тагаева Парвина Зарифжоновна

10.03.01 Информационная безопасность

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: parviit1@mail.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук Ткаченко Всеволод Андреевич

Denis V. Betev

2.4.3 Electric Power Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: betevdv@rambler.ru

Parvina Z. Tagaeva

10.03.01 Information security

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: parviit1@mail.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering Vsevolod A. Tkachenko

Аннотация. В статье представлен обзор современных методов анализа и прогнозирования временных рядов на примере графика электрических нагрузок. Рассматриваются классические статистические подходы (ARIMA, SARIMA) и методы машинного обучения (LSTM-нейронные сети), проводится сравнение их преимуществ и недостатков, приводятся примеры практического применения для задач энергосистем. Представлено краткое руководство по построению прогнозных моделей, анализу достигнутой точности, а также обсуждаются тенденции дальнейшего развития этой области.

Ключевые слова: нейронные сети, ARIMA, SARIMA, прогнозирование, график электрических нагрузок, временной ряд.

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания «Лаборатория искусственного интеллекта электроэнергетических систем» (код темы: FENG-2024-0007).

Abstract. This article presents an overview of modern methods for analyzing and forecasting time series using the example of an electrical load chart. Classic statistical

approaches (ARIMA, SARIMA) and machine learning methods (LSTM neural networks) are discussed, their advantages and disadvantages are compared, and practical application examples for power system problems are provided. A brief guide to building forecast models, analyzing the achieved accuracy, and discussing future development trends in this area are presented.

Keywords: neural networks, ARIMA, SARIMA, forecasting, electrical load chart, time series.

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state assignment “Laboratory of Artificial Intelligence of Electric Power Systems” (subject code: FENG-2024-0007).

Прогнозирование временных рядов электрических нагрузок – одна из ключевых задач современного энергетического менеджмента и статистики. Точность прогнозов определяет эффективность работы энергосистем, позволяет оптимизировать баланс производства и потребления, снижать издержки и повышать надежность энергоснабжения [1–3]. От традиционных регрессионных подходов до внедрения сложных нейронных сетей методы построения и анализа прогнозных моделей временных рядов развиваются быстрыми темпами. Данная статья предназначена для студентов и молодых специалистов и содержит обзор методологии, алгоритмов и примеров, а также раскрывает перспективы развития этого направления.

Временной ряд – это последовательность значений случайной величины во времени с заданным интервалом измерений [4; 5]. Для исследования структуры ряда анализируются тенденции, циклы, сезонность, автокорреляция и шумовые компоненты. В энергетике основное внимание уделяется моментным (например, почасовые значения нагрузки) и интервальным (например, среднесуточная) рядам.

Основные понятия и классификация временных рядов

Среди традиционных методов принято выделять:

- модели скользящего среднего (MA);
- авторегрессионные (AR);
- обобщённые модели авторегрессии и скользящего среднего (ARMA);
- интегрированные модели ARIMA для нестационарных и сезонных рядов (SARIMA) [6–8].

Среди современных алгоритмов выделяют рекуррентные нейронные сети (RNN), особенно их вариант LSTM (Long Short-Term Memory), способный улавливать значимые зависимости во временных рядах большой длины. Гибридные модели, включая трансформеры, расширяют возможности анализа и работают устойчиво с зашумленными и высокоагрегированными данными, что актуально для крупных энергосистем и распределённого учёта.

Прогресс вычислительных средств расширил возможности применения рекуррентных нейронных сетей (RNN), в том числе классов LSTM и GRU. Такие сети способны учитывать нелинейные долгосрочные зависимости и особенности

сезонности, показывая высокую точность на реальных энергетических данных [9; 10]. Специализированные трансформерные и гибридные архитектуры дополнительно улучшают устойчивость прогнозов при высоком уровне шума и неоднородности исходных данных [10].

Сравнительные исследования показывают, что для краткосрочного прогноза почасовой нагрузки в энергосистемах лучшую точность часто дают гибридные и нейросетевые модели, тогда как ARIMA/SARIMA остаются стандартом для среднесрочного и долгосрочного анализа [11–13]. При внедрении в диспетчерских системах приняты критерии качественной оценки – MAE, RMSE, MAPE.

Корректная постановка задачи прогнозирования включает определение горизонта (часовой/дневной/месячный), объёма обучающей выборки и доступных факторов-признаков (температура, праздничные дни, тарифы и пр.). Показатели точности должны анализироваться на теле данных, не участвовавшем в обучении (тестовой выборке) [8–13].

Модели ARIMA/SARIMA хорошо аппроксимируют стационарные и умеренно сезонные ряды, легки в интерпретации и требуют меньше данных. Нейросетевые методы (LSTM, трансформеры) эффективнее на сложных энергетических наборах, но требуют больших обучающих выборок и значительных вычислительных ресурсов. Важно учитывать возможность переобучения и обязательно проводить валидацию на новых данных, а также анализировать остатки прогнозов [6–10].

Практические рекомендации по построению моделей

- первичная визуализация и очистка данных (выбросы, пропуски);
- оценка стационарности, тест Дики – Фуллера;
- моделирование трендовой и сезонной компоненты, подбор параметров p , d , q для ARIMA (метод Бокса – Дженкинса);
- обучение/тестирование LSTM: преобразование временных последовательностей в обучающие выборки с применением Sliding Window подхода, масштабирование данных;
- сравнительный анализ и интерпретация результатов.

Вейвлет-анализ находит всё большее применение при исследовании графиков электрических нагрузок, поскольку позволяет выявлять тренды, сезонности, а также локализованные выбросы и аномалии в нестационарных процессах. В отличие от классического спектрального анализа, вейвлет-преобразование даёт информацию не только о частоте, но и о времени появления соответствующих изменений в сигнале. Для анализа структуры электрических нагрузок часто применяется дискретное или непрерывное вейвлет-преобразование – например, с использованием функций Морле, Мейера или Хаара. С помощью вейвлет-разложения можно сегментировать ряд по уровням, выделяя медленные и быстрые компоненты, что особенно актуально для задач выявления краткосрочных шоков или долговременных тенденций. Методика эффективна для сглаживания шума, восстановления пропусков, построения признаков для последующего моделирования и повышения точности прогноза [14].

Качество прогноза существенно зависит от корректной предварительной обработки исходного временного ряда, в том числе от учёта выбросов и аномальных значений. Выбросы могут быть связаны с авариями, ошибками сбора данных или редкими внешними возмущениями. Современные методы обнаружения включают применение скользящего среднего, медианного фильтра, теста Граббса, Z-статистики, локальных регрессионных алгоритмов LOF, а также визуализаций. Идентифицированные выбросы подлежат либо исключению, либо обработке: сглаживанию, импутации (заполнению) на основе статистик или прогнозной модели. Некорректная обработка выбросов приводит к искажению обучающих и тестовых выборок, нарушает общую устойчивость модели. В энергетике также рекомендуется классифицировать выбросы как одномоментные (одиночные), групповые (кластерные) и сезонные (например, праздники) [15; 16].

Для комплексной оценки моделей прогнозирования электрических нагрузок важно использовать несколько критериев точности. Основные глобальные метрики:

- MAE (средняя абсолютная ошибка);
- RMSE (среднеквадратичная ошибка);
- MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка);
- SMAPE;
- RMSLE;
- коэффициент детерминации R^2 ;
- MASE (средняя абсолютная шкалированная ошибка).

Выбор метрики зависит от бизнес-целей и структуры исходных данных: RMSE чувствительна к выбросам, MAPE предпочтительна для рядов с выраженной сезонностью, а R^2 – для оценки эмпирической пригодности модели. В ряде прикладных задач электроэнергетики используются и специализированные критерии – например, экономические показатели, расчёт точности для пиковых и низких нагрузок [17; 18].

Одним из главных вызовов внедрения сложных моделей, особенно нейросетевых, является их слабая интерпретируемость. В современных исследованиях используется инструментарий SHAP (SHapley Additive exPlanations), LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations), анализ важности признаков (feature importance) и визуализация внутренних слоёв сетей. Различные подходы к интерпретации позволяют объяснять поведение модели, выявлять значимые факторы (например, метеорологические параметры, праздничные дни), обеспечивать доверие пользователей и корректировать управляющие решения. Для энергетических систем важно связать результат прогноза с управленческими действиями – например, с диспетчеризацией, графиками генерации и закупок [19; 20].

Ансамблирование моделей – важная тенденция в современной аналитике временных рядов. Под этим понимается объединение нескольких прогнозных моделей (например, ARIMA и LSTM, бустинг, стекинг), что позволяет повысить устойчивость и точность результата. Специализированные методы ансамбли-

рования помогают компенсировать ограничения отдельных моделей: статистические модели хорошо работают в стационарных условиях, а нейросети – при сложной динамике и нелинейностях. Обычно ансамбль строится путём усреднения прогнозов (bagging), каскадирования моделей (stacking) или обучения с коррекцией ошибок (boosting). В энергетике такие подходы уже показали высокую эффективность [21; 22].

В условиях цифровизации энергетики особую роль приобретают системы сбора больших данных (Big Data) и Интернет вещей (IoT). Внедрение датчиков, интеллектуальных счётчиков, автоматизированных платформ позволяет получать детализированные массивы временных рядов, что открывает новые возможности моделирования и прогноза. Большие данные требуют применения масштабируемых алгоритмов, обработки потоковой информации в реальном времени и специальных методов импутации/агрегации. Всё это увеличивает потенциал для сложных архитектур прогнозирования (трансформеры, глубокие нейронные сети), позволяет интегрировать экзогенные признаки и оптимизировать процессы управления энергосистемами [23; 24].

Прогнозирование временных рядов электрических нагрузок – динамично развивающаяся область теории и практики. Использование комбинаций классических и интеллектуальных методов позволяет существенно повысить точность прогнозов в отраслевых задачах. На практике целесообразно комбинировать статистические и нейросетевые методы для достижения устойчивых результатов, постоянно оценивая точность на новых данных. Дальнейшее развитие связано с совершенствованием архитектур моделей глубокого обучения, интеграцией внешней информации (погода, рынок) и автоматизацией отбора признаков.

Список литературы

1. Фадеева П. А. [и др.]. Восстановление и прогнозирование временных рядов с помощью метода ARIMA и его модификации // Информационные технологии и нанотехнологии. 2024. Т. 4. С. 041762.
2. Агеев В. А., Казаков Д. В., Репьев Д. С. Обзор традиционных и нейросетевых методов прогнозирования электрической нагрузки // Огарёв-online. 2022. Т. 11 (5). С. 1–6.
3. Манусов В. З., Бирюков Е. В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами // Известия Томского политехнического университета. 2006. № 6. С. 153–157.
4. Анализ временных рядов // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/734966/> (дата обращения: 11.11.2025).
5. Лозинская А. М., Редькина А. Ю., Шенкман Е. А. Прогнозирование электропотребления объединенной энергосистемы: учет сезонных колебаний // Прикладная эконометрика. 2020. № 4 (60). С. 5–25.

6. Зажогин С. Д., Вишняков А. С., Козлова Ю. Д. Применение LSTM нейронных сетей для прогнозирования нагрузки и управления ресурсами в AWS // Восточно-европейский журнал. 2024. № 8 (105). С. 21–28.
7. Нейросети в трейдинге: Оптимизация LSTM для целей прогнозирования многомерных временных рядов (DA-CG-LSTM) // MQL5. URL: <https://www.mql5.com/ru/articles/17901> (дата обращения: 15.06.2025).
8. Андрианова Е. Г. [и др.]. Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах // Российский технологический журнал. 2020. Т. 8, № 4, С. 7–45.
9. Газизов Д. И. Обзор методов статистического анализа временных рядов и проблемы, возникающие при анализе нестационарных временных рядов // Научный журнал. 2016. № 3(4). С. 9–14.
10. Лоскутов А. Ю. Анализ временных рядов: курс лекций. М. : Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. 113 с. URL: http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Lectures_time_series_analysis.pdf (дата обращения: 12.11.2025).
11. Анализ данных временных рядов: DL vs статистические методы // BigDataSchool. URL: <https://bigdataschool.ru/blog/statistics-vs-deep-learning-for-forecasting-time-series/> (дата обращения: 12.11.2025).
12. Галанов И. С. Методы и алгоритмы прогнозирования нагрузки в информационной системе для составления графиков работы сотрудников колл-центра // Актуальные исследования. 2024. № 24-1 (206). С. 35–37.
13. 4 нейросетевых трансформера для прогнозирования временных рядов // BigDataSchool. URL: <https://bigdataschool.ru/blog/news/machine-learning/gan-for-time-series-forecasting/> (дата обращения: 16.06.2025).
14. Архипова О. В. [и др.]. Алгоритм вейвлет-преобразования суточных графиков нагрузок для выбора параметров гибридных накопителей энергии // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 57–62.
15. Обнаружение и коррекция одномерных выбросов в данных // Loginom. URL: <https://loginom.ru/blog/outliers> (дата обращения: 12.11.2025).
16. 5 техник, применяемых в анализе временных рядов, которые должен знать каждый. Часть 2 // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/918832/> (дата обращения: 12.11.2025).
17. Метрики качества линейных регрессионных моделей данных // Loginom. URL: <https://loginom.ru/blog/quality-metrics> (дата обращения: 12.11.2025).
18. Метрики и оценка: количественная оценка качества прогнозов // Scikit-learn. URL: https://scikit-learn.ru/stable/modules/model_evaluation.html (дата обращения: 12.11.2025).
19. Интерпретация результатов машинного обучения // Webiomed. URL: <https://webiomed.ru/blog/interpretatsiia-rezultatov-mashinnogo-obucheniia/> (дата обращения: 12.11.2025).
20. Матренин П. В., Степанова А. И. Повышение интерпретируемости моделей прогнозирования электропотребления горнодобывающих предприятий

с помощью аддитивного объяснения Шепли // Записки Горного института. 2025. Т. 271. С. 154–167.

21. Ансамбль моделей машинного обучения: преимущества и применение // Skypro Wiki. URL: <https://sky.pro/wiki/analytics/ansambl-modelej-mashinnogo-obucheniya-preimushchestva-i-primenenie/> (дата обращения: 12.11.2025).

22. Лекция 8.1. Методы машинного обучения // Zhanibekov University. URL: https://zhanibekov.edu.kz/media/university/faculties/materials/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_8_1.pdf (дата обращения: 12.11.2025).

23. IoT-датчики для предсказания потребления и снижения издержек с аналитической автоматизацией // Административный директор. URL: <https://auditaho.ru/iot-datchiki-dlya-predskazaniya-potrebleniya-i-snizheniya-izderzhek-s-analiticheskoy-avtomatizatsiei/> (дата обращения: 12.11.2025).

24. Сахаров Д. В. Использование математических методов прогнозирования для оценки нагрузки на вычислительную мощность IoT-сети // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 2. С. 86–94.

References

1. Fadeeva P. A. [et al.]. Reconstruction and forecasting of time series using the ARIMA method and its modifications. *Informatsionnye tekhnologii i nanotekhnologii* [Information technology and nanotechnology]. 2024. Vol. 4, p. 041762 (In Russian)

2. Ageev V. A., Kazakov D. V., Rep'ev D. S. Review of traditional and neural network methods for forecasting electrical load // *Ogarev-online* [Ogarev-online]. 2022. Vol. 11 (5), p. 1-6 (in Russian)

3. Manusov V. Z. Short-term prediction of electrical load based on a fuzzy neural network and its comparison with other methods. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific Bulletin of Tomsk Polytechnic University]. 2006. No. 12, p. 108-115 (in Russian).

4. Analiz vremennykh riadov // Khabr [Time series analysis // Habr]. Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/prirodopolzovatelyam/normativno-pravovye-akty/6658532/-629-p/> (Accessed 11 November 2025) (in Russian)

5. Lozinskaia A. M., Red'kina A. Iu., Shenkman E. A. Forecasting Electricity Consumption of the Ural United Power System. *Prikladnaia ekonometrika* [Applied Econometrics]. 2020. No. 60, pp. 12-23 (in Russian)

6. Zazhagin S. D., Vishniakov A. S., Kozlova Iu. D. Application of LSTM neural networks for load forecasting and resource management in AWS. *Vostochno-evropeiskii zhurnal* [East European Journal]. 2024. No. 8 (105), pp. 21-28. (in Russian).

7. Neuroseti v treidinge: Optimizatsiia LSTM dlia tselei prognozirovaniia mnogomernykh vremennykh riadov (DA-CG-LSTM) // MQL5. [Neural Networks in Trading: LSTM Optimization for multidimensional Time series Forecasting (DA-CG-LSTM) // MQL5]. Available at: <https://www.mql5.com/ru/articles/17901> (Accessed 15 June 2025) (in Russian)

8. Andrianova E. G. [et al.]. An overview of modern models and methods for analyzing time series of process dynamics in social, economic, and sociotechnical systems. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal* [Russian Technological Journal]. 2020. Vol. 8. No. 4, pp. 7–45 (in Russian)
9. Gazizov D. I. Review of methods of statistical analysis of time series and problems arising in the analysis of non-stationary time series. *Nauchnyi zhurnal* [Scientific journal]. 2016. No. 3 (4), p. 9-14 (in Russian)
10. Loskutov A. Iu. Analiz vremennykh riadov: kurs lektzii. [Time Series Analysis: Lecture Course]. Physics Department, Moscow State University, 2011. 113 p. Available at: http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Lectures_time_series_analysis.pdf (Accessed 12 November 2025) (in Russian)
11. Laboratoriia BigDataSchool. Analiz dannykh vremennykh riadov: DL vs statisticheskie metody. 2023. [BigDataSchool Laboratory. Time Series Data Analysis: Deep Learning vs. Statistical Methods. 2023]. Available at: <https://bigdataschool.ru/blog/statistics-vs-deep-learning-for-forecasting-time-series/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)
12. Galanov, I. S. Methods and algorithms for predicting the workload in an information system for scheduling call center employees. *Aktual'nye issledovaniia* [Current research]. 2024. No. 24-1 (206), pp. 35-37 (in Russian)
13. 4 neirosetevykh transformera dlia prognozirovaniie vremennykh riadov // BigDataSchool. [BigDataSchool. 4 neural network transformers for time series forecasting]. Available at: <https://bigdataschool.ru/blog/news/machine-learning/gan-for-time-series-forecasting/> (Accessed: 16 June 2025) (in Russian)
14. Arkhipova O. V. [et al.]. Algorithm for wavelet transform of daily load graphs for selecting parameters of hybrid energy storage devices. *Omskii nauchnyi vestnik*. [Omsk Scientific Bulletin]. 2020. No. 6 (174), pp. 57-62 (in Russian)
15. Obnaruzhenie i korrektsiia odnomernykh vybrosov v dannykh // Loginom [Detection and correction of one-dimensional outliers in data]. Available at: <https://loginom.ru/blog/outliers> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)
16. 5 tekhnik, primeniaemykh v analize vremennykh riadov, kotorye dolzhen znat' kazhdyi. Chast' 2 // Khabr [5 techniques used in time series analysis that everyone should know. Part 2 // Khabr]. Available at: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/918832/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)
17. Metriki kachestva lineinykh regressionnykh modelei dannykh // Loginom [Quality metrics for linear regression models // Loginom]. Available at: <https://loginom.ru/blog/quality-metrics> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)
18. Metriki i otsenka: kolichestvennaia otsenka kachestva prognozov // Scikit-learn [Model evaluation module in Scikit-learn]. – Available at: https://scikit-learn.ru/stable/modules/model_evaluation.html (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)
19. Interpretatsiia rezul'tatov mashinnogo obucheniia // Webiomed. [Interpretation of machine learning results // Webiomed]. Available at: <https://webiomed.ru/blog/interpretatsiia-rezultatov-mashinnogo-obucheniia/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)

20. Matrenin, P. V. Improving the interpretability of models for forecasting electricity consumption of mining enterprises using the additive Shapley explanation. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute]. 2025. Vol. 271, pp. 154-167 (in Russian)

21. Ansambl' modelei mashinnogo obucheniia: preimushchestva i primeneniie // Skypro Wiki [Ensemble of machine learning models: advantages and applications // Sky.pro Wiki]. Available at: <https://sky.pro/wiki/analytics/ansambl-modelej-mashinnogo-obucheniya-preimushchestva-i-primeneniie/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)

22. Lektsiia 8.1. Metody mashinnogo obucheniia // Zhanibekov University. [Lecture 8.1. Machine learning methods // Zhanibekov University]. Available at: <https://auditaho.ru/iot-datchiki-dlya-predskazaniya-potrebleniya-i-snizheniya-izderzhkek-s-analiticheskoy-avtomatizatsiei/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)

23. IoT-datchiki dlia predskazaniia potrebleniia i snizheniia izderzhkek s analiticheskoi avtomatizatsiei // Administrativnyi direktor. [IoT Sensors for Consumption Prediction and Cost Reduction with Analytical Automation // Administrative Director]. Available at: <https://auditaho.ru/iot-datchiki-dlya-predskazaniya-potrebleniya-i-snizheniya-izderzhkek-s-analiticheskoy-avtomatizatsiei/> (Accessed: 12 November 2025) (in Russian)

24. Sakharov D. V. Using Mathematical Forecasting Methods to Assess the Load on the Computing Power of an IoT Network. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby MChS Rossii*. [Bulletin of the Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. 2020. No. 2, pp. 86-94 (in Russian)

УДК 681.515.8:621.313.2

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА
НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ВОЗБУЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**COMPARISON OF METHODS FOR SETTING UP A PID CONTROLLER
IN A DC MOTOR AUTOMATIC IGNITION CONTROL SYSTEM**

Данилов Данил Александрович

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: AntennaOfficial@yandex.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук Парамзин Александр Олегович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Danil A. Danilov

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: AntennaOfficial@yandex.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering Alexander O. Paramzin

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В рамках данной работы на примере системы автоматического регулирования возбуждения двигателя постоянного тока выполнен сравнительный анализ классических и современных методов настройки ПИД-регуляторов. Рассматриваются методы Циглера – Никольса, Шубладзе, Куна и Шеделя. Для проведения исследований используется математическое моделирование в среде MATLAB Simulink. Цель работы – выявить наиболее эффективный метод для объекта управления в виде двигателя постоянного тока с точки зрения быстродействия, перерегулирования и сохранения устойчивости.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, двигатель постоянного тока, передаточная функция, расчет коэффициентов.

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания «Лаборатория искусственного интеллекта электроэнергетических систем» (код темы: FENG-2024-0007).

Annotation. Within the framework of this work, a comparative analysis of classical and modern methods of tuning PID controllers is performed using the example of an automatic control system for DC motor excitation. The methods of Ziegler-Nichols, Shubladze, Kuhn, and Schedel are considered. Mathematical modeling in the MATLAB Simulink environment is used to conduct research. The purpose of the work is to identify the most effective method for the control object, in the form of a DC motor in terms of speed, overshoot and stability.

Keywords: PID controller, DC motor, transfer function, calculation of coefficients.

Acknowledgments: the study was carried out within the framework of the state assignment “Laboratory of Artificial Intelligence of Electric Power Systems” (subject code: FENG-2024-0007).

Широкое применение двигателей постоянного тока (ДПТ) в промышленной автоматизации, робототехнике и мехатронных системах обусловлено их высоким пусковым моментом, линейностью характеристик и простотой управления [1].

Регулирование скорости в системах с ДПТ играет важную роль для обеспечения надежной эксплуатации, предполагая поддержание заданной скорости независимо от внешних возмущений при минимальном времени переходных процессов [2].

Среди методов регулирования частоты вращения ДПТ выделяют ШИМ-контроллер, силовой реостат, линейный, ПИД- и нечеткий регуляторы [3]. Наиболее распространенным является ПИД-регулятор, эффективность которого напрямую зависит от правильного выбора коэффициентов [4].

Несмотря на развитие современных методов управления, ПИД-регулятор сохраняет центральное место в автоматике благодаря структурной простоте, надежности и интуитивности [5; 6]. Более 90 % промышленных контуров регулирования используют ПИД-алгоритм [7]. Актуальность быстрой и точной настройки ПИД-регулятора обусловлена необходимостью оптимизации времени ввода системы в эксплуатацию и обеспечения ее динамических характеристик [8]. Выбор метода настройки представляет критически важную задачу для сокращения пусконаладочных работ и повышения качества функционирования системы [9].

В данной работе рассматриваются различные подходы к расчету коэффициентов ПИД-регулятора для системы автоматического регулирования скорости электродвигателя постоянного тока.

ПИД-регулятор генерирует управляющее воздействие U путем суперпозиции трех компонентов, которые пропорциональны ошибке регулирования $e(t)$, представляющей собой разность между заданным и текущим значениями. В математической форме это выражается следующим образом:

$$U = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (1)$$

где:

k_p – пропорциональная составляющая;

T_i – интегральная составляющая;

T_d – дифференциальная составляющая.

В рамках данной работы упростим математическое описание объекта до формализации в виде передаточной функции (2):

$$W(s) = \frac{k}{[(T_e \cdot T_m \cdot T_3)s^3 + (T_e \cdot T_m + T_m \cdot T_3)s^2 + (T_m + T_3)s + 1]}, \quad (2)$$

где:

k – коэффициент усиления двигателя, отражающий его способность преобразовывать входное напряжение в угловую скорость;

T_e – электромагнитная постоянная времени, которая характеризует скорость протекания электромагнитных процессов;

T_m – электромеханическая постоянная времени;

T_s – коэффициент инерционности системы, обобщающий влияние электромагнитных и механических постоянных времени на общую динамику системы.

В качестве численных значений примем усредненные значения на основании анализа отечественного и зарубежного опыта [10]. Коэффициент усиления k зададим равным 4. Электромагнитную постоянную времени T_e , определяемую из индуктивности и сопротивления обмотки якоря, обозначим равной 0,15 с. Электромеханическую постоянную времени T_m примем равной 0,85 с на основании ее зависимости от момента инерции нагрузки и величины механических потерь. Коэффициент инерционности T_s зададим равным 1,6.

Тогда передаточная функция (2) может быть записана в виде (3):

$$W(s) = \frac{4}{0,15s^3 + 0,85s^2 + 1,6s + 1}. \quad (3)$$

Для расчета коэффициентов воспользуемся несколькими методами настройки ПИД-регулятора, среди которых методы Циглера – Никольса, Шубладзе, Куна и Шеделя.

Метод Циглера – Никольса – эмпирический метод граничного усиления, представляет собой систематическую процедуру определения параметров ПИД-регулятора путём обращения в ноль интегральной и дифференциальной составляющей с последующим выводением системы на границу устойчивости и расчётом коэффициентов регулирования по выражениям (4–8):

$$T_i = \frac{T_{kp}}{2}, \quad (4)$$

$$k_p = 0,6 \cdot k_{kp}, \quad (5)$$

$$T_d = \frac{T_{kp}}{8}, \quad (6)$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i}, \quad (7)$$

$$k_d = k_p \cdot T_d. \quad (8)$$

В обозначенных выше выражениях T_i – период установившихся колебаний переходного процесса; k_{kp} – коэффициент усиления, соответствующий выходу системы на режим установившихся колебаний.

Метод Шубладзе заключается в вычислении интегральных характеристик (9–12) путём расчёта площади, ограниченной кривой переходного процесса и осью времени. Используемые формулы имеют эмпирическую природу и разработаны для обеспечения переходного процесса с уровнем перерегулирования не более 20 %:

$$I = \frac{1}{2 \cdot T_1} + \frac{2}{4 \cdot T_2}, \quad (9)$$

$$k_d = \frac{-0,5 \cdot (-T_1 \cdot I + 1)^{n-2} \cdot \left[(n+1) \cdot (n+2) \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot I^2 - (n+1) \cdot \right. \\ \left. \cdot (n \cdot T_1 + 4 \cdot T_2) \cdot T_1 \cdot I + 2 \cdot (n \cdot T_2 + T_2) T \right]}{k_0}, \quad (10)$$

$$k_p = \frac{-[(-T_1 \cdot I + 1)^{(n-1)} \cdot [(n+2) \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot I^2 - [(n+1) \cdot T_1 + 2 \cdot T_2] \cdot I + 1] - 2 \cdot k_d \cdot k_0 \cdot I]}{k_0}, \quad (11)$$

$$k_i = -[(-T_1 \cdot I + 1)^n \cdot (T_2 \cdot I - 1) \cdot \frac{1}{k_0} + k_d \cdot I^2 - k_p \cdot I]. \quad (12)$$

В обозначенных выше выражениях T_i – постоянные времени, определяемые из передаточной функции; n – порядок апериодического звена; I – интегральный показатель; k_0 – коэффициент усиления системы.

Метод Куна предполагает аппроксимацию объекта математической моделью, включающей звено с временной задержкой и апериодическое звено первого порядка. Параметры регулятора определяются посредством аналитических выражений (13–18), учитывающих временную постоянную объекта, время задержки и коэффициент усиления:

$$T_c = T_1 + T_2 + T_3, \quad (13)$$

$$T_i = \frac{2 \cdot T_c}{3}, \quad (14)$$

$$T_d = \frac{T_c}{6}, \quad (15)$$

$$k_p = \frac{1}{k_s}, \quad (16)$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i}, \quad (17)$$

$$k_d = k_p \cdot T_d. \quad (18)$$

В обозначенных выражениях T_c – суммарная постоянная времени объекта; T_i – постоянная времени; T_d – постоянная времени дифференцирования; k_p – коэффициент усиления пропорциональной составляющей регулятора; k_i – коэф-

ент интегральной составляющей регулятора; k_d – коэффициент дифференциальной составляющей регулятора; k_s – коэффициент усиления объекта управления.

Метод Шеделя направлен на минимизацию времени регулирования при перерегулировании в пределах 20 %. Подход основан на принципе каскадного коэффициента демпфирования. В методе обобщается понятие коэффициента демпфирования на случай системы 3-го порядка. Параметры ПИД-регулятора должны быть выбраны таким образом, чтобы коэффициенты демпфирования системы принимали определенные значения:

$$TD = \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_3}{T_2}, \quad (19)$$

$$TY = \frac{T_1^2 - T_2}{T_1 - TD}, \quad (20)$$

$$k_p = \frac{0,375 \cdot TY}{k_0 \cdot (T_1 - TY)}, \quad (21)$$

$$k_i = \frac{k_p}{TY}, \quad (22)$$

$$k_d = k_p \cdot TD. \quad (23)$$

В обозначенных выражениях TD – расчетный параметр соотношения постоянных времени, характеризующий демпфирование системы; TY – эквивалентная постоянная времени, определяющая динамику замкнутой системы; k_p – коэффициент усиления пропорциональной составляющей ПИД-регулятора; k_i – коэффициент интегральной составляющей ПИД-регулятора; k_d – коэффициент дифференциальной составляющей ПИД-регулятора; k_0 – коэффициент усиления объекта управления; T_1 , T_2 , T_3 – постоянные времени объекта управления.

Расчет коэффициентов и оценка результативности каждого из методов проведены по результатам динамического моделирования в *MATLAB Simulink*, используя модель, представленную на рисунке 1.

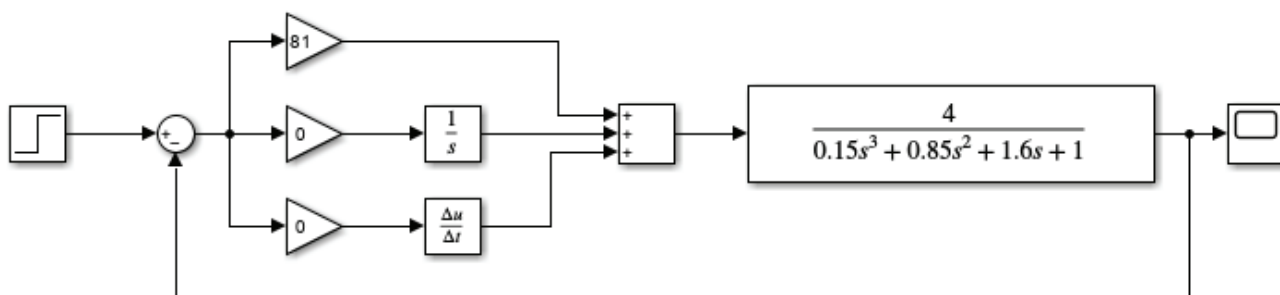


Рисунок 1 – Блок-схема системы ДПТ и ПИД-регулятора в среде *MATLAB Simulink* (составлено автором)

Результаты расчета коэффициентов ПИД-регулятора для каждого из методов представлены в таблице 1. По рассчитанным коэффициентам ПИД-регулятора для каждого из методов были получены переходные характеристики, представленные на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты расчётов составляющих ПИД-регулятора различными методами

Метод настройки ПИД- коэффициент	Метод Циглера – Никольса	Метод Шубладзе	Метод Куна	Метод Шеделя
П	1,212	0,17	0,25	0,5677
И	1,26	0,14	0,24	0,4129
Д	0,291	0,051	0,065	0,2014

Составлено автором.

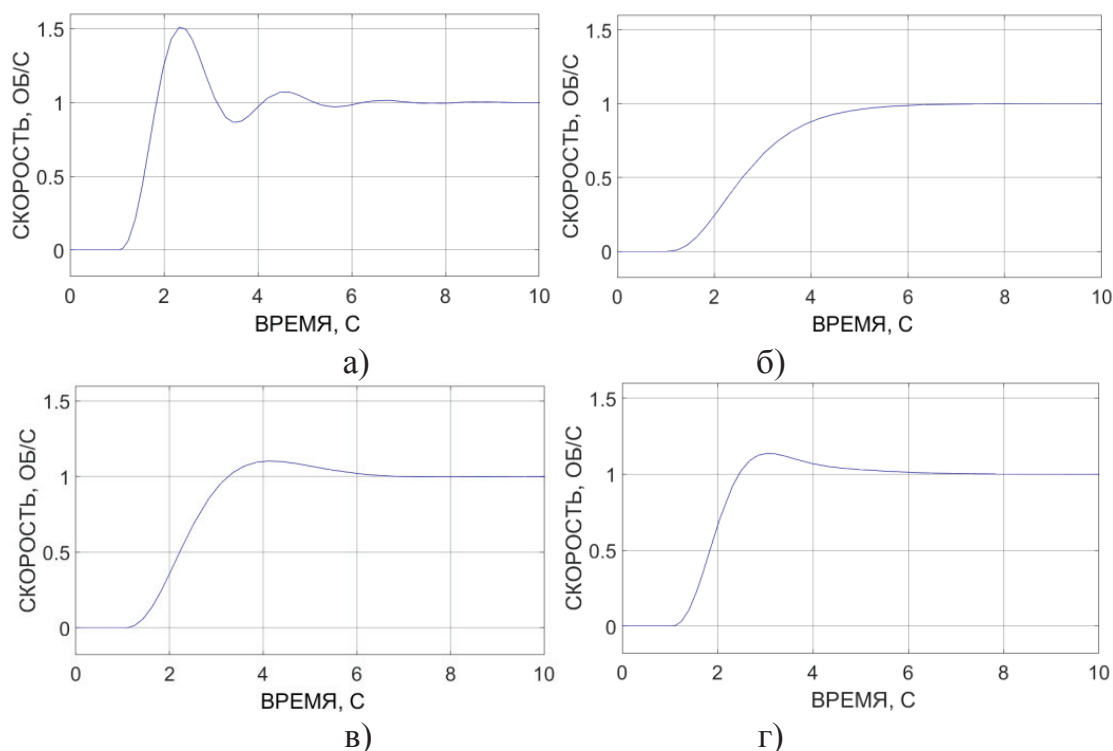


Рисунок 2 – Графики переходных процессов при настройке ПИД-регулятора (составлено автором)

а) методом Циглера – Никольса; б) методом Шубладзе;
в) методом Куна; г) методом Шеделя

Для сравнительного анализа выбраны следующие критерии: время переходного процесса t_{mn} , перерегулирование σ , % и статическая ошибка. Перерегулирование характеризует максимальное отклонение выходного сигнала от установившегося значения и склонности системы к колебаниям. Статическая ошибка определяет точность поддержания заданного уровня сигнала в установившемся режиме.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа различных методов настройки регулятора

Метод настройки	$t_{\text{ин}}$, с	σ , %	Статическая ошибка
Циглера – Никольса	2,2	60	Отсутствует
Шубладзе	7,5	2	Отсутствует
Куна	3,5	12	Отсутствует
Шеделя	2,8	20	Отсутствует

Составлено автором.

Итак, метод Циглера – Никольса показал минимальное время регулирования, но чрезмерное перерегулирование (55– 60 %), что ограничивает его практическое применение. Метод Шубладзе обеспечил минимальное перерегулирование (0–2 %) за счет значительного увеличения времени переходного процесса. Метод Куна продемонстрировал сбалансированные характеристики с перерегулированием 10–12 % и приемлемым быстродействием. Метод Шеделя показал оптимальный компромисс с перерегулированием 18–20 % при хорошем времени регулирования, что делает его наиболее предпочтительным для практического использования. Все методы обеспечили нулевую статическую ошибку благодаря интегральной составляющей.

Список источников

1. Голубев А. К. [и др.]. Исследование методов адаптивного управления двигателями постоянного тока // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО : материалы ЛП науч. и учеб.-метод. конф. Университета ИТМО (Санкт-Петербург, 31 янв. – 03 фев. 2023 г.). СПб., 2023. С. 37–41.
2. Bose B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. New Jersey : Prentice Hall, 2002. 850 p.
3. Петров В. П., Сидоров А. С. Системы управления электроприводами. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 384 с.
4. Сидорова А. А., Малышенко А. М. Анализ эффективности алгоритмов автоматической настройки адаптивных промышленных ПИД-регуляторов // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318, № 5. С. 110–115.
5. Visioli A. Practical PID Control. London : Springer, 2006. 314 p.
6. Беннетт С. Развитие ПИД-регулятора // IEEE Control Systems Magazine. 1993. Т. 13, № 6. С. 58–62.
7. Ang K. H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13, № 4. P. 559–576.
8. Ушкин И. С., Шумилкин А. А., Адилов Р. М. Использование ПИД-регуляторов в системах автоматического управления // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 226.
9. Сидорова А. А. Определение наиболее эффективного метода настройки ПИД-регулятора // Проблемы информатики. 2012. № S3(17). С. 143–150.

10. Будин В. И., Дремов Ф. В. Теория автоматического управления в среде MATLAB. Самара, 2014. 127 с. URL : https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu|elib|955 (дата обращения: 15.06.2025).

References

1. Golubev A. K. [et al.]. Research of methods of adaptive control of DC motors. *Al'manakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh universiteta ITMO : materialy LII nauch. i ucheb.-metod.konf. Universiteta ITMO (Sankt-Peterburg, 31 ianv. – 03fev. 2023 g.). [Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University : materials of the LII scientific and Educational Institute.-method.conf. ITMO University (St. Petersburg, January 31 - February 03, 2023)]*. St. Petersburg, 2023. pp. 37-41.
2. Bose B. K. *Modern Power Electronics and AC Drives*. New Jersey : Prentice Hall, 2002, 850 p.
3. Petrov V. P., Sidorov A. S. *Sistemy upravleniia elektroprivodami [Electric drive control systems]*. St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2008. 384 p.
4. Sidorova A. A., Malyshenko A. M. Analysis of the effectiveness of algorithms for automatic adjustment of adaptive industrial PID controllers. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tomsk Polytechnic University]*. 2011. Vol. 318, No. 5, pp. 110-115.
5. Visioli A. *Practical PID Control*. London : Springer, 2006. 314 p.
6. Bennett S. Development of the PID controller. *IEEE Control Systems Magazine*. 1993. Vol. 13, No. 6, pp. 58-62.
7. Ang K. H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2005. Vol. 13, № 4. P. 559–576.
8. Ushkin I. S., Shumilkin A. A., Adilov R. M. The use of PID controllers in automatic control systems. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia [Successes of modern natural science]*. 2011. No. 7, p. 226.
9. Sidorova, A. A. Determination of the most effective method of setting the PID controller. *Problemy informatiki [Problems of computer science]*. 2012. No. S3(17), pp. 143-150.
10. Budin V. I., Dremov F. V. *Teoriia avtomaticheskogo upravleniia v srede MATLAB. [The theory of automatic control in the MATLAB environment]*. Samara, 2014. 127 p. Available at: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu|elib|955 (Accessed: 15 June 2025) (in Russian)

СИСТЕМА АНАЛИЗА И ФОРМИРОВАНИЯ ОТЧЁТОВ ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

HYBRID SOLAR POWER PLANT ANALYSIS AND REPORTING SYSTEM

Саблина Анастасия Андреевна

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: mettjeevas@gmail.com

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент

Годовников Евгений Александрович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Anastasiya A. Sablina

01.04.02 Applied mathematics and computer science

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: mettjeevas@gmail.com

Scientific adviser: Candidate of Technical Sciences Evgeny A. Godovnikov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В статье рассматривается разработка веб-сервиса для автоматизации анализа и формирования отчётов по работе гибридных солнечных электростанций (СЭС). Сервис позволяет обрабатывать, визуализировать и хранить данные о параметрах работы систем, объединяющих солнечные панели, аккумуляторные батареи и дизель-генераторы. Для реализации использованы современные технологии: Python/FastAPI, PostgreSQL, Vue.js. Внедрение решения обеспечивает отказ от ручных расчётов в Excel, повышает точность анализа.

Ключевые слова: гибридная СЭС, FastAPI, PostgreSQL, Vue.js, автоматизация, Excel.

Annotation. The article discusses the development of a web service for automating the analysis and generation of reports on the operation of hybrid solar power plants (SES). The service allows you to process, visualize and store data on the operating parameters of systems combining solar panels, batteries and diesel generators. Modern technologies are used for implementation: Python/FastAPI, PostgreSQL, Vue.js .

Keywords: hybrid solar power plant, FastAPI, PostgreSQL, Vue.js, automation, Excel.

Гибридные солнечно-дизельные электростанции (СЭС) представляют собой комплексные системы, объединяющие возобновляемые и традиционные источники энергии для обеспечения надёжного энергоснабжения удалённых районов. Для их эффективной эксплуатации требуется постоянный мониторинг,

анализ, а также прогнозирование показателей работы оборудования и характера потребления нагрузки [1]. В большинстве случаев такой анализ осуществляется вручную с использованием Excel, что приводит к росту ошибок и снижению оперативности. Исследование месячного отчета показало, что каждая книга Excel занимает 30–70 Мб, что повышает требования к вычислительным ресурсам. При этом каждый дневной отчет сначала выгружают из базы данных в отдельный Excel-файл, затем импортируют их в другую книгу, в которой происходит расчет показателей за месяц. Целью данного исследования является создание автоматизированной системы анализа данных гибридной СЭС и формирования отчетов по ключевым параметрам работы оборудования.

Исследование проводилось на примере реальных гибридных СЭС, действующих на территории Ханты-Мансийского автономного округа, т. к. каждая гибридная СЭС включает в себя дизель-генератор, АКБ, систему инверторов и различные источники альтернативной энергии, в первую очередь солнечные панели и ветрогенераторы [2].

Также в состав включается программно-аппаратный комплекс телеметрии с локальным сервером с web-мониторингом и управлением и базой данных PostgreSQL с единой структурой. На этой же базе была разработана клиент-серверная архитектура web-приложения, включающая:

- back-end – язык Python [3] и фреймворк FastAPI, обеспечивающие обработку данных, расчёт показателей и взаимодействие с базой данных;
- база данных – PostgreSQL [4], в которой реализованы таблицы для хранения исходных данных, результатов вычислений и аналитических отчетов;
- front-end – Vue.js [5], предоставляющий графический интерфейс для пользователей и визуализации аналитических данных.

Для построения модели данных была дополнена ER-диаграмма (рисунок 1) существующей системы с включением таблиц «analyze_report», «analyze_parameter_mapping» и «page_block». Эти структуры обеспечивают хранение агрегированных показателей, пользовательских формул и метаданных отчетов.

Для реализации возможности выгрузки результатов отчета через промышленные модемы была добавлена интеграция посредством Modbus-TCP.

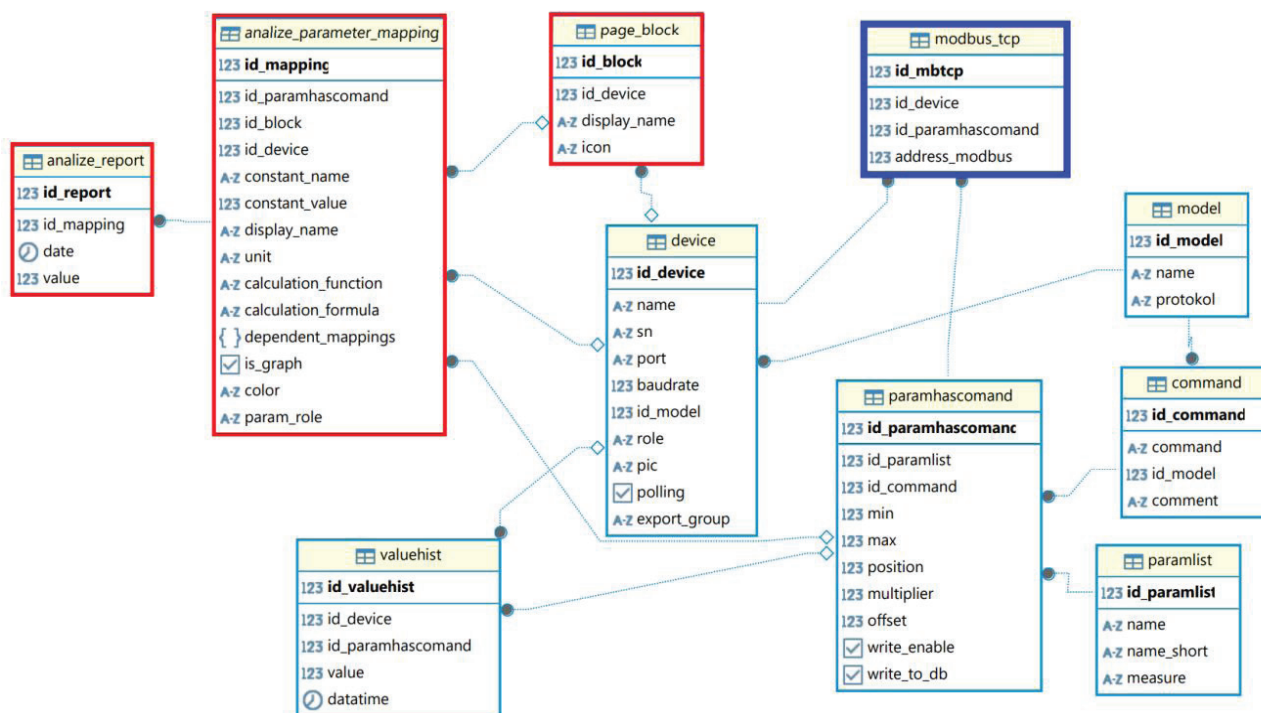


Рисунок 1 – ER-диаграмма разработанной системы (составлено автором)

Основные методики анализа параметров работы СЭС были реализованы в слое back-end и автоматически всегда вычисляются при каждом запросе. Для повышения функциональности была реализована возможность добавления дополнительных формул с синтаксисом, аналогичным MS Excel.

Реализованная система была развернута на сервере в корпоративной сети обслуживающей компании в виде Docker-контейнера. Фрагмент результата формирования отчета представлен на рисунке 2.

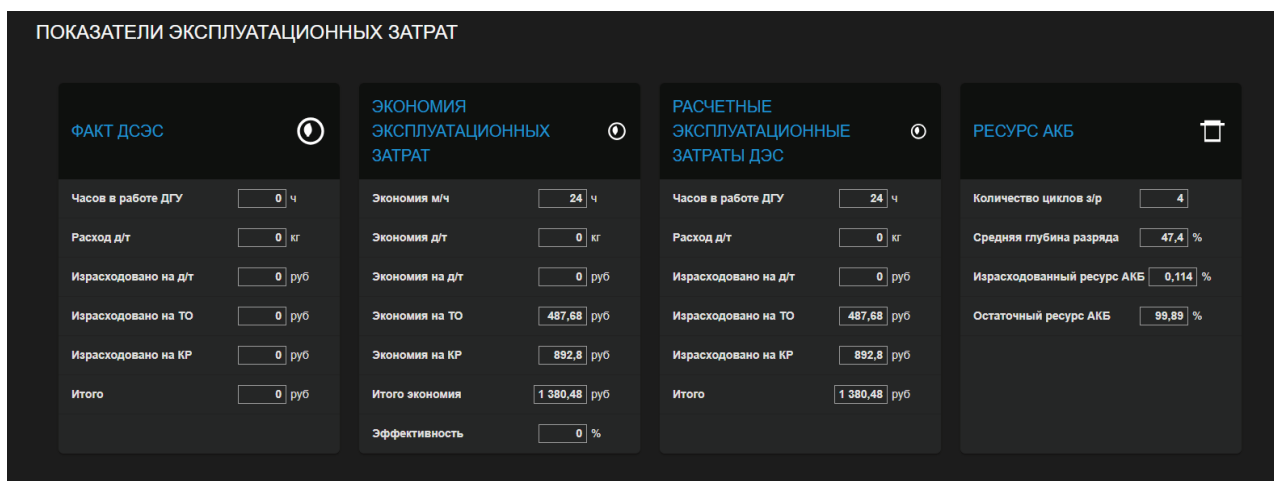


Рисунок 2 – Пример расчета показателей эксплуатационных затрат (составлено автором)

Реализованная система обеспечивает:

1. Автоматический сбор и анализ данных о работе гибридной СЭС.
2. Формирование отчётов и графиков по ключевым метрикам: выработка солнечной энергии, работа дизель-генератора, заряд/разряд аккумуляторов.

3. Экспорт отчётов в формате Excel.

4. Интеграцию со SCADA-системами по протоколу ModBus TCP для передачи оперативных данных через промышленные модемы.

5. Развёртывание через Docker и Nginx, обеспечивающее стабильную работу и масштабируемость.

Использование FastAPI и PostgreSQL обеспечивает высокую скорость работы и надёжность, а клиентская часть на Vue.js – удобный и интуитивный интерфейс.

Внедрение разработанной системы в будущем позволит перейти к следующим этапам – применению методов прогнозирования потребления электроэнергии автономными энергосистемами малых северных поселений [6–8] с целью повышения качества и стабильности работы автономных гибридных СЭС и, как следствие, повышению уровня жизни коренных и малочисленных народов Севера.

Разработанный web-сервис решает проблему неэффективности ручных расчётов в Excel и обеспечивает автоматизированный анализ работы гибридных СЭС. Если раньше для формирования месячного отчета необходимо было выгрузить 28–31-дневный отчет, импортировать его в отдельную книгу, то теперь для этого необходимо всего лишь выбрать месяц в выпадающем списке и нажать на кнопку «сформировать отчет». При этом разработанная система позволяет составлять отчет за произвольный период времени, а не только за месяц. Его внедрение позволяет повысить гибкость мониторинга энергетических систем, снизить эксплуатационные издержки, ускорить процесс формирования отчётов и улучшить качество управленческих решений. В дальнейшем систему планируется дополнить модулями анализа с последующими рекомендациями по оптимизации работы оборудования.

Список источников

1. Ковалев В. З., Архипова О. В. О графике электрической нагрузки потребителей децентрализованных зон электроснабжения Крайнего Севера и Арктики. Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе // Материалы нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, учёных и специалистов : в 2 т. Тюмень, 2022. Т. 2. С. 195–197.

2. Ковалев В. З., Архипова О. В., Есин С. С. Стратегия построения оптимальной автономной системы электроснабжения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12-2. С. 200–204.

3. Копырин А. С., Салова Т. Л. Программирование на Python. М. : Флинта, 2021. 49 с.

4. Наместников А. М., Филиппов А. А. Базы данных: PostgreSQL 9.5. Ульяновск : УЛГТУ, 2017. 112 с.

5. Wilson D. Full stack development with vue.js and node.js. Packt Publishing, 2021. 368p.

6. Глазырин А. С. [и др.]. Адаптивное краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии автономными энергосистемами малых северных поселений на основе методов ретроспективного регрессионного анализа // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 4. С. 231–248.

7. Исаев Ю. Н. [и др.]. Адаптивное краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии автономными энергосистемами малых северных поселений на основе методов корреляционного анализа // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 2. С. 224–239.

8. Годовников Е. А., Сайфуллин Р. В., Щербаков А. Г. Методика определения долевого вклада нелинейных потребителей в показатели качества электрической энергии // Динамика систем, механизмов и машин. 2024. Т. 12. № 1. С. 43–54.

References

1. Kovalev V. Z., Arkhipova O. V. On the schedule of electrical load of consumers in decentralized power supply zones of the Far North and the Arctic. *Energoberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse* : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference with the participation of students, postgraduates, scientists and specialists [Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex]. Tyumen, 2022. Vol., pp. 195-197.

2. Kovalev V. Z., Arkhipova O. V., Esin S. S. Strategy for building an optimal autonomous power supply system. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2018. No. 12-2, pp. 200-204.

3. Kopyrin A. S., Salova T. L. *Programmirovaniye na Python* [Programming in Python]. Moscow : Flint, 2021. 49 p.

4. Namestnikov A. M., Filippov A. A. *Bazy dannykh: PostgreSQL 9.5*. [Databases: PostgreSQL 9.5]. Ulyanovsk : ULSTU, 2017. 112 p.

5. Wilson D. *Full stack development with vue.js and node.js*. Packt Publishing, 2021. 368 p.

6. Glazyrin A. S. [et al.]. Adaptive short-term forecasting of electricity consumption by autonomous power systems of small northern settlements based on methods of retrospective regression analysis. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]. 2023. Vol. 334, No. 4, pp. 231-248.

7. Isaev Yu. N. [et al.]. Adaptive short-term forecasting of electricity consumption by autonomous power systems of small northern settlements based on correlation analysis methods. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]. 2023. Vol. 334. No. 2, pp. 224-239.

8. Godovnikov E. A., Saifullin R. V., Shcherbakov A. G. Methodology for determining the share contribution of non-linear consumers to the quality of electric energy. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines]. 2024. Vol. 12. No. 1, pp. 43-54.

ТРИБОДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

TRIBODIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS

Шерешков Никита Петрович

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: n.sher1328@gmail.com

Научный руководитель: ст. преподаватель Шепелева Елена Юрьевна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Nikita P. Shereshkov

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: n.sher1328@gmail.com

Scientific adviser: senior lecturer Elena Yu. Shepeleva

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Исследование посвящено трибодиагностике в электрических двигателях для раннего выявления износа и предупреждения отказов. Цель – анализ эффективности трибодиагностики для прогнозного обслуживания и повышения надежности оборудования. Для этого в работе рассмотрены особенности износа и существующие методы диагностики применительно к подшипникам, щёточно-коллекторным узлам и зубчатым передачам.

Ключевые слова: трибодиагностика, электродвигатели, износ, смазочные материалы, подшипники, спектрометрия, прогнозное обслуживание, вибродиагностика, электрическая эрозия, ИИ-алгоритмы.

Annotation. The study is devoted to tribodiagnostics in electric motors for early detection of physical depreciation and failure prevention. The purpose is to analyze the effectiveness of tribodiagnostics for predictive maintenance and increased reliability of equipment. For this purpose, the paper considers the features of physical depreciation and existing diagnostic methods in relation to bearings, brush-collector assemblies and gears.

Keywords: tribodiagnostics, electric motors, physical depreciation, grease, bearings, spectrometry, predictive maintenance, vibration diagnostics, electrical erosion, AI algorithms.

Трибодиагностика в электрических двигателях – это направление, которое помогает выявлять износ и предупреждать отказы через анализ смазочных материалов, частиц износа и других признаков деградации. Актуальность темы обус-

ловлена широким применением электродвигателей в промышленности, энергетике и транспорте, где внезапные отказы приводят к значительным экономическим потерям [1]. Рассмотрим самые интересные аспекты этого метода.

Первым аспектом стоит выделить особенности износа в электродвигателях. В отличие от двигателей внутреннего сгорания, где трибодиагностика в основном связана с металлическими частицами от трения пар цилиндр – поршень, в электродвигателях ключевые узлы износа – это:

- подшипники (шариковые, роликовые, скольжения) – основной источник металлических частиц;

- щёточно-коллекторный узел (в двигателях постоянного тока) – даёт углеродные и медные частицы;

- зубчатые передачи (если есть редуктор) – стальные и бронзовые частицы.

Наиболее распространенными методами диагностики износа электродвигателей являются:

- феррография – выявляет крупные частицы, сигнализирующие о серьезном износе подшипников [2];

- спектрометрия – определяет примеси металлов (Fe, Cu, Al, Cr), указывающие на износ конкретных деталей;

- инфракрасная спектроскопия – обнаруживает окисление масла и загрязнения;

- электрохимические датчики – могут использоваться для онлайн-мониторинга состояния смазки [7].

В электрических двигателях может возникать токопроводящий износ подшипников (электрическая эрозия материалов подшипников) из-за паразитных токов (от инверторов, частотных преобразователей). Это приводит к следующим проблемам: кратерообразный износ дорожек качения, появление специфических частиц с оплавленными краями и ускоренная деградация смазки из-за локального перегрева [3].

Именно поэтому необходим мониторинг работы электродвигателей. Общая схема системы мониторинга представлена на рисунке 1.

К трендам в мониторинге относят:

- использование датчиков в реальном времени – современные системы (например, ПО SKF @ptitude Analyst) могут анализировать частицы прямо в работающем двигателе;

- комбинация с вибродиагностикой – повышает точность прогноза износа подшипников;

- ИИ-алгоритмы – предсказывают остаточный ресурс на основе данных трибоанализа.

Применение в критичных системах:

- электромобили – мониторинг подшипников и редукторов;

- промышленные двигатели – предотвращение внезапных остановок конвейеров;

- ветрогенераторы – диагностика подшипников генератора (ремонт очень дорогой).

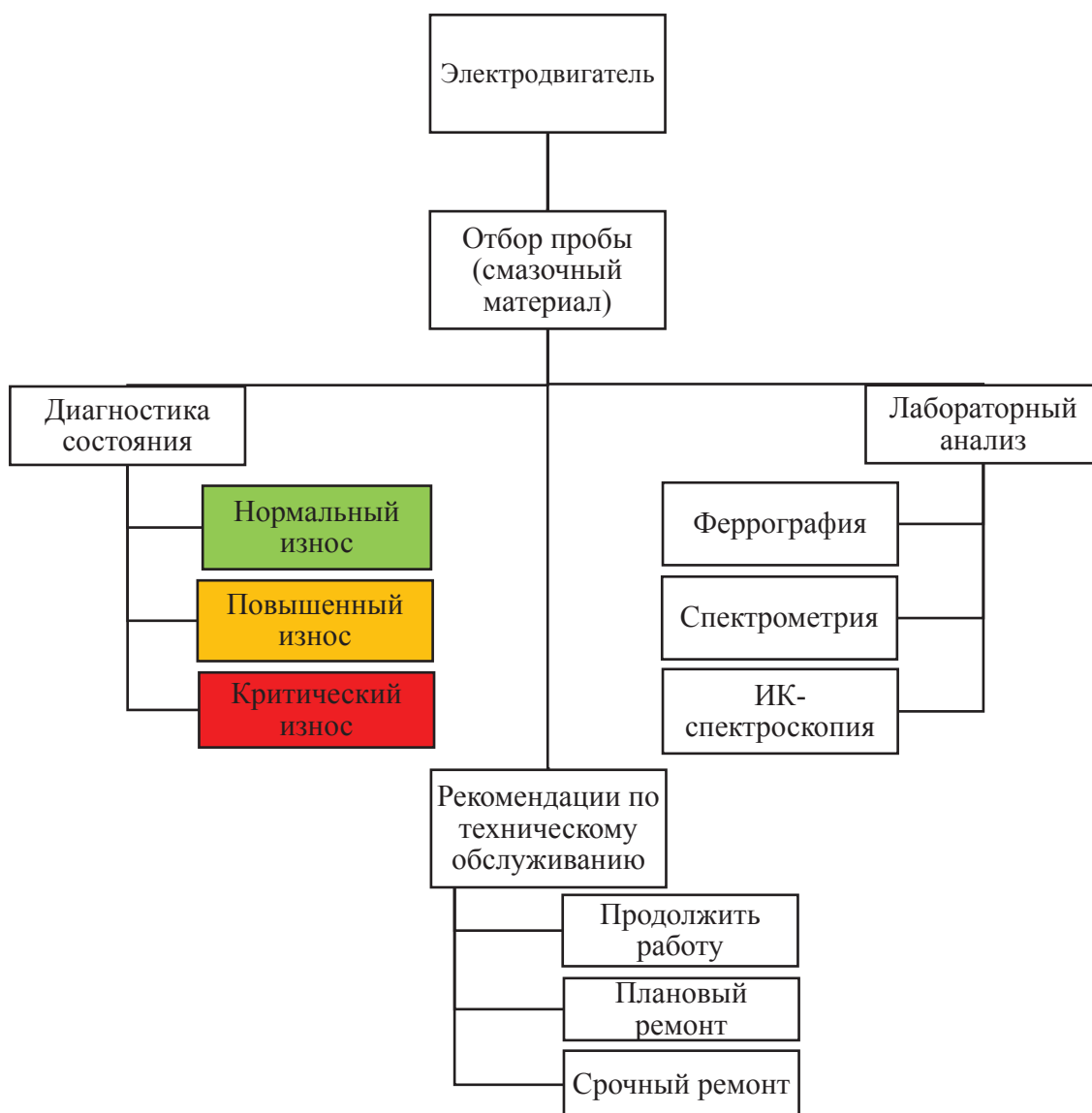


Рисунок 1 – Схема системы трибодиагностики электродвигателя

Стоит обратить внимание на неочевидные признаки проблем, такие как повышенное содержание меди, которое может указывать на разрушение сепаратора подшипника, наличие черных углеродистых частиц, являющихся признаком перегрева смазки или износа щёток, а также появление воды в масле, что при малом количестве приводит к коррозии и ускоряет износ, при большом может стать причиной взрыва и возгорания.

Будущее трибодиагностики в электродвигателях может быть представлено следующими устройствами и технологиями:

- наносенсоры – смогут детектировать износ на ранних стадиях;
- квантовые методы анализа – повысят точность определения состава частиц;
- цифровые двойники – будут предсказывать износ на основе трибоданных

[1; 2].

Трибодиагностика в электродвигателях становится всё важнее с ростом их применения в промышленности, транспорте и энергетике. Это ключевой инструмент для перехода от планового обслуживания к прогнозной диагностике.

Трибодиагностика эффективна для электродвигателей, потому что позволяет заблаговременно выявлять скрытые дефекты, оценивать износ узлов и прогнозировать остаточный ресурс без разборки оборудования. Анализ литературных данных показывает, что внедрение трибодиагностики позволяет снизить количество внезапных отказов на 25–30 % и сократить затраты на обслуживание на 15–20 % [4].

Ключевые преимущества трибодиагностики для электродвигателей:

1. Раннее обнаружение износа и дефектов:

- выявляет микроскопические частицы металлов в масле или смазке, которые появляются до вибрационных или температурных аномалий;
- позволяет обнаружить начальные стадии повреждения подшипников, втулок, шестерен до появления шумов или вибрации.

2. Точечная диагностика конкретных узлов.

По составу металлов можно определить, какой именно компонент изнашивается:

- железо (Fe), хром (Cr) – износ подшипников качения или вала;
- медь (Cu), олово (Sn) – разрушение втулок или подшипников скольжения;
- алюминий (Al) – износ корпусных деталей;
- кремний (Si) – попадание абразивной пыли (негерметичность).

3. Предотвращение катастрофических отказов:

- позволяет предупредить заклинивание, разрушение обмоток, перегрев из-за выхода из строя подшипников;
- снижает риск остановки производства и дорогостоящего ремонта.

4. Оптимизация обслуживания (переход от планового к прогнозному ТО):

- замена масла и подшипников только по фактическому состоянию, а не по графику;
- уменьшение затрат на необоснованные ремонты и простои.

5. Контроль качества смазочных материалов:

- выявляет загрязнение масла водой, пылью, продуктами окисления;
- позволяет подобрать оптимальную смазку для конкретных условий работы.

6. Возможность дистанционного мониторинга:

- совместима с системами промышленного IoT – данные можно анализировать в режиме реального времени [5].

Таблица 1 – Сравнение с другими методами диагностики

Метод диагностики	Что выявляет?	Преимущества трибодиагностики
Вибродиагностика	Дисбаланс, дефекты подшипников	Трибодиагностика раньше обнаруживает износ (до появления вибрации)
Термография	Перегрев подшипников, контактов	Трибодиагностика показывает причину перегрева (износ, недостаток смазки)
Анализ сопротивления обмоток	Проблемы в электрической части	Трибодиагностика дополняет диагностику механической части

Трибодиагностика электродвигателей позволяет оценить их техническое состояние по анализу продуктов износа в смазочных материалах (масле или консистентной смазке). На её основе можно сделать следующие выводы:

1. Общее состояние двигателя:

- нормальный износ – концентрация металлов соответствует допустимым значениям, двигатель работает в штатном режиме;
- повышенный износ – превышение норм по железу, меди, алюминию и другим металлам, что указывает на ускоренное изнашивание деталей;
- критический износ – резкое увеличение концентрации частиц, что может сигнализировать о приближающейся поломке.

2. Износ конкретных узлов и материалов:

- подшипники качения (шариковые, роликовые) – повышенное содержание железа (Fe), хрома (Cr), иногда никеля (Ni) указывает на их разрушение;
- втулки и подшипники скольжения – высокий уровень меди (Cu), олова (Sn), свинца (Pb);
- зубчатые передачи (если есть редуктор) – железо (Fe), молибден (Mo) из-за износа шестерен;
- обмотки и электрические части – медь (Cu), серебро (Ag) (если есть контакты).

3. Причины износа:

- абразивный износ – наличие кремния (Si) говорит о загрязнении масла пылью или песком;
- коррозия и окисление – повышенное содержание железа (Fe) и продуктов окисления;
- усталостный износ – высокий уровень крупных частиц металлов из-за циклических нагрузок;
- недостаточная смазка – повышенный износ из-за сухого трения (много мелких частиц).

4. Состояние смазочного материала:

- окисление масла – повышение кислотности, вязкости, наличие продуктов старения;
- загрязнение – наличие посторонних примесей (пыль, вода, продукты деградации);
- несоответствие смазки – неправильно подобранный тип масла или консистентной смазки [3; 6].

В заключение следует отметить, что эффективность трибодиагностики обусловлена тем, что она:

- обнаруживает износ раньше других методов – до появления вибрации, шума или перегрева;
- точно определяет изнашиваемый узел – подшипники, втулки, шестерни;
- снижает затраты на ремонт – позволяет менять детали и масло только при необходимости;
- интегрируется в системы predictive maintenance (прогнозного обслуживания).

Благодаря этим преимуществам трибодиагностика является незаменимым инструментом для надежного мониторинга состояния критически важных электродвигателей в промышленности, энергетике и транспорте [3; 4].

Список источников

1. Стрельцов Д. А. Трибодиагностика электрических машин / Д. А. Стрельцов // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири : сб. ст. XII Всерос. молодёжной конф. им. В. И. Шпилемана (Ханты-Мансийск, 16–17 апр. 2024 г.). Ханты-Мансийск : ЮГУ, 2024. С. 285–288.
2. Романов Р. А., Зубкова С. Ю. Анализ масла в своевременной диагностике машинного оборудования // Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 5 (30). С. 122–123.
3. Ибляминов Р. Ж. Преимущества и недостатки методов трибодиагностики // Актуальные аспекты развития воздушного транспорта (Авиатранс-2021) : материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием (Ростов-на-Дону, 20–27 окт. 2021 г.). Ростов-н/Д., 2021. С. 317–323.
4. Кокоть М. И., Ишинбаев Н. А., Федоров В. С. Моделирование датчика системы обнаружения металлических частиц в маслосистеме машин и агрегатов // Нефтегазовое дело. 2019. № 4. С. 197–208.
5. Чичинадзе А. В. [и др.]. Основы трибологии. 2 изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 2001. 778 с.
6. Маленко П. И. Анализ современных методов диагностики состояния поверхностей трущихся элементов узлов трения машин // Сборник науч. тр. по итогам VIII Междунар. науч.-тех. конф. «Новые материалы и технологии в машиностроении». Брянск : БГИТА, 2008. С. 44–47.
7. Мишин В. В., Подмастерьев К. В., Марков В. В. Приборная база для комплексного диагностирования подшипников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 4 (288). С. 111–120.

References

1. Streltsov D. A. Tribodiagnostics of electric machines. Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniia i istoriia geologicheskogo poiska v Zapadnoi Sibiri : Proceedings of the XII All-Russian Youth Conference named after V.I. Shpilman, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Alexei Emilievich Kontorovich, Soviet and Russian geologist, Academician of the Russian Academy of Sciences, winner of the State Prize of the Russian Academy of Sciences Federation in the Field of Science and Technology [Problems of rational use of natural resources and the history of geological exploration in Western Siberia]. Khanty-Mansiysk, April 16-17, 2024. Yugra State University, 2024, pp. 285-288.
2. Romanov R. A., Zubkova S. Iu. Oil analysis in the timely diagnosis of machinery. *Ekspozitsiia Neft' Gaz*. [Oil and Gas Exhibition]. 2013, № 5(30), pp. 122-123.

3. Ibliaminov R. Zh. Aktual'nye aspekty razvitiia vozdushnogo transporta (Aviatrans-2021) : Advantages and disadvantages of tribodiagnostic methods. Aktual'nye aspekty razvitiia vozdushnogo transporta (Aviatrans-2021) : Proceedings of the Scientific and practical international conference (Rostov-on-Don, October 20-27, 2021). Rostov-on-Don, 2021, pp. 317-323.

4. Kokot' M. I., Ishinbaev N. A., Fedorov V. S. Modeling of the sensor of the metal particle detection system in the oil system of machines and aggregates. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas business]. 2019. № 4, pp. 197-208. (in Russian)

5. Chichinadze A. V. [et al.]. Osnovy tribologii [Fundamentals of tribology]. 2nd edition, revised. and add. M.: Mechanical Engineering, 2001, 778 p.

6. Malenko P. I. Analysis of modern methods for diagnosing the condition of surfaces of friction elements of friction units of machines. Collection of scientific papers based on the results of the 8th International Scientific and Technical conference «New Materials and Technologies in Mechanical Engineering». Bryansk: BGITA, 2008, pp.44-47. Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii : Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference [New materials and technologies in mechanical engineering]. Bryansk : BGITA, 2008. pp. 44-47. (in Russian)

7. Mishin V. V., Podmaster'ev K. V., Markov V. V. Instrument base for complex diagnostics of bearings. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. 2011. № 4 (288), pp. 111-120. (in Russian)

ОШИБКИ

Редакцией ошибочно принята в работу опубликованная в специальном выпуске студенческого научного журнала «Бизнес-трансформация: управление улучшениями» «Месторождение знаний» (s1, 2025) статья Удовенко М. И. «Разработка сервиса для управления умными устройствами «smartfoxie».

В результате допущенной ошибки указанная статья опубликована повторно. По этой причине опубликованная статья Удовенко Михаила Игоревича «Разработка сервиса для управления умными устройствами «smartfoxie» в настоящее время удалена из специального выпуска студенческого научного журнала «Бизнес-трансформация: управление улучшениями» «Месторождение знаний» (№ S1, 2025). Редакция журнала приносит свои искренние извинения читателям и авторам.

Ключевые слова: умный дом, SaaS-платформа, IoT-интеграция, мобильное приложение, CRM-система.

Как цитировать: Удовенко М. И. Разработка сервиса для управления умными устройствами «smartfoxie» // Бизнес-трансформация: управление улучшениями. 2025. № 3 (12). С. 60–66.

CORRIGENDUM

The editorial board mistakenly accepted the article «Development of a Service for Managing Smart Devices 'smartfoxie'» by M. I. Udovenko, which was published in the special issue of the student scientific journal «Business Transformation: Improvement Management» «Knowledge Deposit» (s1, 2025). As a result of this mistake, the article was published again. For this reason, the published article by Udovenko Mikhail Igorevich «Development of a Service for Managing Smart Devices «smartfoxie» has been removed from the special issue of the student scientific journal «Business Transformation: Improvement Management» «Knowledge Deposit» (No. S1, 2025). The editorial staff of the journal sincerely apologizes to the readers and authors.

Keywords: smart home, SaaS platform, IoT integration, mobile application, CRM system.

How to cite: Udovenko M. I. Development of a Service for Managing Smart Devices «smartfoxie» // Business Transformation: Improvement Management. 2025. No. 3 (12). Pp. 60–66.

**Бизнес-трансформация:
управление улучшениями**
Студенческий научный журнал
№ 4 (13) 2025 г.
Бесплатно
16+

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации:
серия Эл № ФС77-84580 от 16 января 2023 г.

Дата выхода в свет 25.12.2025
Формат 60x84 1/8. Гарнитура Times New Roman.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16

Главный редактор – Лебедева Илона Дмитриевна
Тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 449)

Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16.
E-mail: snojournal@mail.ru
<https://snojournal-ugrasu.ru/>