

УДК 519.8:658.512

З.М. Курбанов, И.В. Хасамбиев, М.В. Дебиев, А.М. Дебиева, М.Ю. Хашамов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования "Грозненский государственный нефтяной технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова"
364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ КАК КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Z.M. Kurbanov, I.V. Khasambiev, M.V. Debiev, A.M. Debieva, M.Y. Hashamov
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Grozny State Petroleum
Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov"
364051, Chechen Republic, Grozny, Kh.A. Isaev ave., 100

AUTOMATED ENERGY SAVING SYSTEMS AS KEY TECHNOLOGIES OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

В статье рассматриваются современные автоматизированные системы энергосбережения (АСЭ), их архитектура, ключевые технологии и практические аспекты внедрения. Приводится анализ эффективности, экономические выгоды и реальные кейсы внедрения в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделяется перспективным направлениям развития, включая применение искусственного интеллекта и интернета вещей.

Ключевые слова: автоматизированные системы, энергосбережение, искусственный интеллект, цифровой двойник, энергоэффективность.

The article discusses modern automated energy saving systems (ASE), their architecture, key technologies and practical aspects of implementation. The analysis of efficiency, economic benefits and real cases of implementation in various industries is presented. Special attention is paid to promising areas of development, including the use of artificial intelligence and the Internet of Things.

Key words: automated systems, energy saving, artificial intelligence, digital twin, energy efficiency.

В условиях роста тарифов на энергоресурсы и ужесточения экологических требований автоматизированные системы энергосбережения становятся критически важным инструментом для предприятий и муниципалитетов. По данным Минэнерго РФ, потенциал энергосбережения при использовании АСЭ достигает 25-40% в зависимости от отрасли.

Энергосбережение и энергоэффективность сегодня являются не просто элементами рационального использования ресурсов, а стратегическими компонентами национальной безопасности и конкурентоспособности экономики. Согласно отчету Международного энергетического агентства (IEA, 2023), меры по повышению энергоэффективности могут обеспечить до 40% необходимого снижения глобальных выбросов CO₂ к 2050 году.

В России, согласно Энергетической стратегии до 2035 года, повышение энергоэффективности определено как один из приоритетов развития ТЭК. В статье рассматриваются не только теоретические аспекты, но и практические примеры успешной реализации энергосберегающих проектов [1,] [7], [9].

Архитектура автоматизированных систем энергосбережения.

1. Трехуровневая модель, в которую входят:

- Полевой уровень (сенсоры, датчики, счетчики);
- Уровень сбора и обработки данных (шлюзы, контроллеры);
- Аналитический уровень (платформы визуализации и управления).

2. Ключевые компоненты, состоящие из:

- IoT-устройств с беспроводной передачей данных;
- Промышленных контроллеров и шлюзов;
- Программного обеспечения для анализа и прогнозирования;

Далее представим основные технологии в АСЭ.

1. Интеллектуальный учет, включающий в себя:

- Многотарифные smart-счетчики;
- Системы автоматического сбора показаний (АСДКЭ).

2. Автоматизированное управление, выполняющее роль:

- Погодозависимого регулирования;
- Системы диспетчеризации (SCADA);
- Адаптивных алгоритмов управления нагрузкой.

3. Аналитика и прогнозирование осуществляющие роль:

- Цифровых двойников энергосистем;
- Предиктивной аналитики на основе ИИ;
- Когнитивных систем поддержки решений [2], [4].

Проведем некоторый анализ практики внедрения автоматизированных систем энергосбережения (АСЭ). Внедрение АСЭ требует комплексного подхода, учитывающего специфику отрасли, масштабы объекта и доступные технологии. Рассмотрим успешные кейсы внедрения в промышленности, ЖКХ и коммерческой недвижимости, а также ключевые проблемы и пути их решения [3], [5], [8].

Некоторые данные промышленного сектора приведены в табл. 1. Результаты проведенного анализа показали, что пиковое снижение на 120 млн. кВт.ч достигнуто за 3 года. Основной эффект получен после:

- 2021 года в результате установки ЧРП на 80% оборудования;
- 2022 года в результате внедрения системы предиктивной аналитики;
- 2023 года в результате интеграции с цифровым двойником.

Таблица 1 - Динамика энергопотребления на примере металлургического комбината

Год	Потребление, млн. кВт.ч	После внедрения АСЭ	Экономия
2020	520	-	-
2021	510	Частичное внедрение	2%
2022	430	Полный переход	18%
2023	400	Оптимизация ИИ	23%

Эффективность проектов ЖКХ и муниципального хозяйства приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Сравнительная эффективность проектов умного освещения

Город	Фонарей	Годовая экономия, млн. руб.	Срок окупаемости
Казань	50 000	120	3.5 года
Москва	150 000	400	4.2 года
Сочи	12 000	28	2.8 года

Ключевые выводы:

1. Наибольшая абсолютная экономия наблюдается в г. Москве;
2. Лучшая окупаемость характерна в южных регионах (меньше расход на обогрев датчиков);
3. Средний показатель снижения потребления составляет 39%.

Динамика энергопотребления коммерческой недвижимости приведена в табл. 3.

Некоторые особенности технологий в системе энергосбережения:

- Сезонные колебания сократились на 40%;
- Летний пик потребления снижен за счет автоматического затемнения витрин и оптимизации работы холодильных установок.

Таблица 3 - Динамика энергопотребления торгового центра

Параметр	До внедрения	После внедрения	Изменение
Освещение, кВт.ч/м ²	85	62	-27%
Кондиционирование	120	95	-21%
Общее потребление	5.2 млн. кВт.ч	4.3 млн. кВт.ч	-18%

Такой подход достиг следующих типовых показателей:

1. Промышленность 18-25% экономии энергоресурсов;
2. ЖКХ 22-30% снижения потерь электроэнергии;
3. Коммерческая недвижимость 15-20% экономии энергоресурсов.

Наибольший экономический эффект достигается в промышленности (до 40%) за счет масштабов перевооружения бытовых приборов, электроустановок и конструктивных особенностей зданий и сооружений. В ЖКХ ключевой эффект за счет управления, но муниципальные проекты окупаются за 3 – 5 лет. В коммерческой недвижимости окупаемость инвестиций выше при использовании искусственного интеллекта и цифровых двойников [1], [6], [10], [11].

Можно предложить и некоторые рекомендации для успешного внедрения:

1. Начинать с пилотных зон (цех, микрорайон, этаж здания).
2. Использовать модели ESCO (энергосервисные контракты) для снижения нагрузки на бюджет.

3. Обучать персонал работе с новыми системами.

Экономическая эффективность за счет внедрения АСЭ приведена в табл. 4.

Приведем факторы, влияющие на стоимость:

- Масштаб объекта (цех, завод, городская сеть);
- Уровень автоматизации;
- Необходимость модернизации существующей инфраструктуры.

Таблица 4 - Структура затрат на внедрение

Компонент	Доля в бюджете (%)	Примерная стоимость (для завода)
Оборудование (датчики, контроллеры)	40–60%	5–15 млн. руб.
Программное обеспечение (аналитика, SCADA)	20–30%	2–8 млн. руб.
Пусконаладка и интеграция	15–25%	1,5–5 млн. руб.

Оптимизация комбинирования технологий энергосбережения

Проведенный анализ практики внедрения АСЭ в различных отраслях (промышленность, ЖКХ, коммерческая недвижимость) позволяет не только констатировать достигнутую экономию, но и вывести общие принципы оптимального комбинирования технологий. На основе данных таблиц 1-4 и результатов исследований [1], [3], [5], [10] можно предложить многоуровневую модель внедрения, максимизирующую совокупный экономический эффект.

1 Принцип последовательной интеграции технологий

Анализ динамики внедрения на металлургическом комбинате (табл. 1) показывает, что максимальный эффект (23% экономии) достигнут не разовым внедрением, а поэтапной реализацией:

Этап 1 (Базовый): Внедрение частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на 80% оборудования дало немедленный, но ограниченный эффект (2% экономии). Это соответствует снижению базовой неэффективности.

Этап 2 (Оптимизационный): Добавление системы предиктивной аналитики на основе ИИ позволило оптимизировать работу уже модернизированного оборудования в режиме реального времени, что резко увеличило экономию (до 18%).

Этап 3 (Синергетический): Интеграция с цифровым двойником обеспечила возможность сценарного моделирования и оптимизации энергопотребления всей системы в целом, доведя экономию до 23%.

Этот кейс демонстрирует, что комбинация технологий «ЧРП + Предиктивная аналитика + Цифровой двойник» дает кумулятивный эффект, где каждый последующий этап раскрывает потенциал предыдущих.

2 Принцип отраслевой специфики комбинаций

Оптимальная комбинация технологий зависит от типа объекта:

Для промышленности: Наибольший эффект показывает связка «Интеллектуальный учет (АСДКЭ) → Автоматизированное управление (SCADA, ЧРП) → Предиктивная аналитика на основе ИИ». Это подтверждается данными Таблицы 1 и исследованиями [10], где комплексное управление гармониками и нагрузкой дает до 25% экономии.

Для ЖКХ (умное освещение): Ключевая комбинация — «IoT-датчики присутствия и освещенности → Централизованная система диспетчеризации → Адаптивные алгоритмы управления». Как видно из Таблицы 2, данная комбинация обеспечивает окупаемость от 2.8 до 4.2 года при экономии до 39%.

Для коммерческой недвижимости: Оптимальна комбинация «Автоматическое управление освещением (затемнение витрин) → Оптимизация работы климатических систем (кондиционирование) → Интеграция в единую платформу управления зданием (BMS)». Результаты в Таблице 3 показывают, что такой подход позволяет снизить общее потребление на 18% с значительным сокращением пиковых нагрузок (-27% по освещению).

3 Расчет оптимальной последовательности внедрения

Для определения приоритетности внедрения технологий предлагается использовать расчет индекса эффективности затрат (ИЭЗ) для каждого проекта, который учитывает не только срок окупаемости, но и потенциал экономии:

$$\text{ИЭЗ} = (\text{Годовая экономия, млн руб.} / \text{Затраты на внедрение, млн руб.}) * \text{Весовой коэффициент риска}$$

где *Весовой коэффициент риска* определяется экспертным путем на основе отраслевых рисков (для ЖКХ — 0.9, для промышленности — 0.85, для коммерции — 0.95 ввиду более стабильных тарифов).

Пример расчета для данных из статьи:

Завод: Затраты ~20 млн руб., экономия ~8 млн руб./год. $\text{ИЭЗ} = (8 / 20) * 0.85 = 0.34$

Проект умного освещения (г. Сочи): Затраты (ориентировочно) ~78.4 млн руб. (28 млн руб. экономии / 0.357 (норма окупаемости за 2.8 года)), экономия ~28 млн руб./год. $\text{ИЭЗ} = (28 / 78.4) * 0.9 \approx 0.32$

Несмотря на более высокую абсолютную экономию, проект в ЖКХ может иметь сопоставимый или даже более низкий ИЭЗ по сравнению с промышленным проектом из-за более высоких капитальных затрат. Следовательно, **первоочередное внедрение должно получать проекты с максимальным ИЭЗ**, что позволяет максимизировать возврат на единицу вложенных средств.

Таким образом, оптимальный результат достигается не простым суммированием технологий, их последовательным и комбинированным внедрением по принципу «от простого к сложному»:

1. Начинать с базовых технологий, дающих быстрый эффект (ЧРП, IoT-датчики, интеллектуальный учет).
2. Наращивать системы оптимизации в реальном времени (SCADA, предиктивная аналитика), которые повышают эффективность базового уровня.
3. Интегрировать все подсистемы в единую платформу верхнего уровня (цифровой двойник, когнитивные системы) для достижения синергетического эффекта и управления объектом как единым организмом.

Данный подход, основанный на анализе реальных кейсов и расчете интегральных показателей, таких как ИЭЗ, позволяет сформировать научно обоснованную стратегию внедрения АСЭ для достижения максимальной энергоэффективности и экономии ресурсов.

Для наибольшего эффекта выявим перспективные направления.

1. Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистему:
 - Гибридные системы управления;
 - Балансировка генерации и потребления электрической электроэнергии.

2. Квантовые технологии:
 - Сверхточные сенсоры;
 - Квантовые алгоритмы оптимизации.
3. Нейросетевые решения:
 - Самообучающиеся системы;
 - Генеративные модели для прогнозирования.

Автоматизированные системы энергосбережения демонстрируют высокую эффективность в различных отраслях экономики. Дальнейшее развитие технологий ИИ, IT - интернет вещей (концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой) и квантовых вычислений открывает новые возможности для повышения энергоэффективности. Ключевыми факторами успешного внедрения являются:

1. Комплексный подход к проектированию;
2. Использование проверенных решений;
3. Подготовка квалифицированного персонала;
4. Постоянный мониторинг и оптимизация.

Энергосбережение и энергоэффективность – критически важные элементы перехода к низкоуглеродной экономике. Успешная реализация энергосберегающих мер требует комплексного подхода, включающего технологические инновации, государственную поддержку и изменение поведения потребителей. Как показывает мировой опыт, инвестиции в энергоэффективность окупаются не только экономией средств, но и значительным экологическим эффектом.

Список литературы

1. Амхаев Т.Ш., Дебиев М.В., Абдулхакимов У.И., Асхабов У.Р. Повышение качества электроэнергии внедрением интеллектуальных сетей. *Вестник ГГНТУ, Технические науки* 2022. Том XVIII. № 1 (27), 2022 г. – Грозный, 92 с.
2. Ховалова Т.В., Жолнерчик С.С. Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей *Журнал «Стратегические решения и риск-менеджмент»*. 2018. с. 92
3. Амхаев Т.Ш., Дебиев М.В., Масаев С.Х. Автоматизированная система учета электроэнергии в электрических сетях Чеченской Республики с использованием WEB-технологий. *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. 2022. Т. 18. № 4 (30). С. 13-23.
4. Эльбазуров А.Р., Титова Г.Р. Возобновляемые источники энергии для эффективного развития электроснабжения сельского хозяйства Чеченской Республики. Достижения в области автоматизации *Материалы Международной Российской конференции по автоматизации, РусАвтоКон 2019*, 8–14 сентября 2019 г., Сочи, Россия.
5. Четошников Л.М., Смоленцев Н.И., Четошников С.А., Гусаров Г.В. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2018; 20(5-6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-3-10>.
6. Хмара В.В., Хасцаев Б.Д., Кабышев А.М., Суворов Д.Н., Илюхин А.В. Особенности информационно-технического обеспечения автоматов или единой разветвленной системы автоматизированного управления непрерывным технологическим процессом. *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. 2022. Т. 18. № 2 (28). С. 41-52.
7. Мошин А.А., Ключев Р.В. Использование альтернативных источников энергии в промышленности. *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2021. Т. 6. № 3 (25). С. 81-87.
8. Кожевников А.А., Гордиенко Е.П. Вычислительные системы комплексов микропроцессорной централизации. *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. Учредители: Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова, Грозный. Том 20. №2 (36), 2024. С.32-43.
9. Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 N 187-ФЗ (последняя редакция) 26 июля 2017 года N 187-ФЗ - https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/.

10. Зуев В.М. Использование нейросети для управления механизмами. (подъема мишеней *Материалы Донецкого международного научного круглого стола «Искусственный интеллект: теоретические аспекты и практическое применение»* ИИ-2020. Донецк: ГУ ИПИИ, 2020. С. 73–77.
11. Головкин В. А. *Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие* / В. А. Головкин, В. В. Краснопрошин. Минск: БГУ, 2017. 263 с. ISBN 978.985.566.467.4.
12. Вичугов В.Н Модифицированный градиентный алгоритм обучения радиально-базисных нейронных сетей. *Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2009. Т. 315. № 5. С.150–152.
13. Тимакова А.А., Смирятин В.А., Курнасов Е.В., Выскуб В.Г., Мутин Д.И. Создание миварной экспертной системы для автоматизации выбора частотного преобразователя. *Проблемы искусственного интеллекта*. Донецк. № 2(37). 2025. С. 91–104.
14. Гриценко Н. Особенности диагностики свай магистральных линий электропередачи Ямало-Ненецкого Автономного округа. *Электроэнергия. Передача и распределение*. S3 (38). 2025. С. 12–15.
15. Мазалов А.А., Береснев М.А., Воронин С.С. Компьютерное моделирование алгоритмов адаптивного управления ветровой турбины переменного тока. *Электротехнические комплексы и системы управления*. Воронеж. № 4. 2015. С. 18–23.
16. Горемыкин С.А., Королев Н.И., Ситников Н.В. К анализу работоспособности современных автоматических выключателей модульного исполнения. *Электротехнические комплексы и системы управления*. Воронеж. № 4. 2015. С. 71–73.
17. Бурковский В.Л., Крысанов В.Н., Руцков А.Л., Шукур Омар Шукур Махмуд. Алгоритмизация процесса формирования оперативного графика системного оператора на основе нечёткой нейронной сети. *Электротехнические комплексы и системы управления*. Воронеж. № 4. 2015. С. 77–81.
18. Могиленко А.В., Павлюченко Д.А. Мультиресурсные системы энергоснабжения: новая парадигма, интеллектуальные технические решения и технологии. *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. Москва. Номер: 1. 2016. С. 2–5.
19. Подковальников С.В., Ханаев В.В., Чудинова Л.Ю., Ефимов Д.Н., Степанова Е.Л., Кузнецова О.С. Технологические и интеллектуально-цифровые инновации - основа трансформации электроэнергетических систем. *Электричество*. Российская академия наук. Москва. Номер: 9. 2025. С. 4–21.
20. Rajasekhar A.N.V.V. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC / A.N.V.V.Rajasekhar, M.N.Babu. 2016 *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*. 2016. p. 1754–1758.
21. Suslov K.V. A principle of power quality control in the intelligent distribution networks / K.V.Suslov, N.N.Solonina, V.S.Stepanov. *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST*. 2015. p. 131–137.

References

1. Amkhaev T.Sh., Debiev M.V., Abdulkhakimov U.I., Askhabov U.R. Improving the quality of electric power y introducing smart grids / Bulletin of GGNTU, Technical Sciences 2022. Vol. XVIII. No. 1 (27), 2022 - Grozny, 92 p.
2. Khovalova T.V., Zholnerchik S.S. Effects of development of smart electric power grids Journal "Strategic decisions and risk management". 2018. p. 92
3. Amkhaev T.Sh., Debiev M.V., Masaev S.Kh. Automated system of electricity metering in electric networks of the Chechen Republic using WEB technologies // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. 2022. Vol. 18. No. 4 (30). p. 13-23.
4. Elbazurov A.R., Titova G.R. Renewable energy sources for the efficient development of power supply to agriculture in the Chechen Republic. Advances in automation Proceedings of the International Russian Conference on Automation, RusAvtoKon 2019, September 8–14, 2019, Sochi, Russia.
5. Chetoshnikova L.M., Smolentsev N.I., Chetoshnikov S.A., Gusarov G.V. Autonomous power supply systems with renewable energy sources and smart grid. News of higher educational institutions. PROBLEMS OF ENERGY. 2018; 20(5-6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-3-10>.
6. Khmara V.V., Khastshev B.D., Kabyshev A.M., Suvorov D.N., Ilyukhin A.V. Features of information and technical support for machines of a single branched system of automated control of a continuous technological process // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. 2022. Vol. 18. No. 2 (28). p. 41-52.
7. Moshin A.A., Klyuev R.V. Use of alternative energy sources in industry // Grozny Natural Science Bulletin. 2021. Vol. 6. No. 3 (25). p. 81-87.
8. Kozhevnikov A.A., Gordienko E.P. Computing systems of microprocessor centralization complexes // Vestnik GGNTU. Technical sciences. Founders: Grozny State Oil Technical University named after M.D. Millionshchikov, Grozny. Vol. 20. No. 2 (36), 2024. p. 32-43.
9. Federal Law "On the Security of Critical Information Infrastructure of the Russian Federation" dated July 26, 2017 N 187-FZ (latest revision) July 26, 2017 N 187-FZ - https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/.

10. Zuev V.M. Using a neural network to control mechanisms. (target lifting).[Abstracts of the report]. Materials of the Donetsk International Scientific Round Table "Artificial Intelligence: Theoretical Aspects and Practical Application" AI-2020. Donetsk: GU IPII, 2020. p. 73–77.
11. Golovko V. A. Neural network technologies of data processing : textbook. / V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin. Minsk: BSU, 2017. 263 p. ISBN 978.985.566.467.4.
12. Vichugov V.N. Modified gradient algorithm for training radial-basis neural networks. Izvestiya of Tomsk Polytechnic University. Management, Computer Engineering, and Computer Science. 2009. Vol. 315. No. 5. p. 150–152.
12. Rajasekhar A.N.V.V. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC / A.N.V.V.Rajasekhar, M.N.Babu. - 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). 2016. p. 1754–1758.
13. Timakova A.A., Smiryagin V.A., Kurnasov E.V., Vyskub V.G., Mutin D.I. Creation of a Mivar Expert System for Automating the Selection of a Frequency Converter. / Problems of Artificial Intelligence // System Analysis, Management and Information Processing, Statistics. Donetsk. No. 2(37). 2025. p. 91–104.
14. Gritsenko N. Features of diagnostics of piles of main power transmission lines of the Yamalo-Nenets Autonomous District. Electricity. Transmission and distribution. S3 (38). 2025. p. 12–15.
15. Mazarov A.A., Beresnev M.A., Voronin S.S. Computer modeling of adaptive control algorithms for an AC wind turbine. Electrical complexes and control systems. Voronezh. No. 4. 2015. p. 18–23.
16. Goremykin S.A., Korolev N.I., Sitnikov N.V. To the analysis of the performance of modern automatic switches of modular design. Electrical complexes and control systems. Voronezh. No. 4. 2015. p. 71–73.
17. Burkovsky V.L., Krysanov V.N., Rutskov A.L., Shukur Omar Shukur Mahmud. Algorithmization of the process of forming an operational schedule of a system operator based on a fuzzy neural network. Electrical complexes and control systems. Voronezh. No. 4. 2015. Pp. 77–81.
18. Mogilenko A.V., Pavlyuchenko D.A. Multiresource energy supply systems: a new paradigm, intelligent technical solutions, and technologies. Electro. Electrical engineering, electric power engineering, electrical engineering industry. Moscow. Number: 1. 2016. p. 2–5.
19. Podkovalnikov S.V., Khanaev V.V., Chudinova L.Yu., Efimov D.N., Stepanova E.L., Kuznetsova O.S. Technological and intellectual-digital innovations - the basis for the transformation of electric power systems. ELECTRICITY. Russian Academy of Sciences. Moscow. Number: 9. 2025. p. 4–21.
20. Rajasekhar A.N.V.V. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC / A.N.V.V.Rajasekhar, M.N.Babu. 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). 2016. p. 1754–1758.
22. Suslov K.V. A principle of power quality control in the intelligent distribution networks / K.V.Suslov, N.N.Solonina, V.S.Stepanov. International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST. 2015. p. 131–137.

RESUME

BY Z.M. Kurbanov, I.V. Khasambiev, M.V. Debiev, A.M. Debieva, M.Y. Hashamov
Automated energy saving systems as key technologies of the electric power industry

Relevance: The relevance of the work is due to global challenges: rising energy tariffs and stricter environmental requirements. According to the IEA report (2023), energy efficiency measures can achieve up to 40% of the required reduction in global CO₂ emissions by 2050. In Russia, improving energy efficiency is a priority of the Energy Strategy until 2035. According to the Ministry of Energy of the Russian Federation, the potential for energy saving when using ASE reaches 25–40%, depending on the industry, which makes them a critically important tool for enterprises and municipalities.

The problem is the lack of systematic approaches to combining ASE technologies to achieve maximum effect. It is necessary to solve the problem of optimal choice and sequence of implementation of heterogeneous technologies — from basic sensors to complex AI—based systems - taking into account industry specifics and economic constraints.

The purpose of the work: To develop scientifically based principles of combining ASE technologies to achieve maximum economic and energy effects in various sectors of the economy based on the analysis of real implementation cases.

Scientific novelty: it consists in the proposal of the principle of sequential technology integration, demonstrating a cumulative effect (using the example of a metallurgical plant, savings increased from 2% to 23% over three implementation stages). For the first time, the cost-effectiveness index (EEZ) has been proposed, which makes it possible to quantitatively compare heterogeneous energy-saving projects. Optimal combinations of technologies for industry, housing and communal services and commercial real estate are systematized.

Methodology: It includes an analysis of data from the IEA and the Ministry of Energy of the Russian Federation, a case study of implemented projects (metallurgical plant, smart lighting in Kazan, Moscow, Sochi, shopping center), economic and mathematical modeling (EEZ calculation) and a comparative analysis of efficiency, payback periods and cost structure.

Results: The high efficiency of the ASE was confirmed: the savings achieved amounted to 18-25% in industry, 22-30% in housing and communal services and 15-20% in commercial real estate. The cumulative effect of the phased introduction of technologies has been revealed. It has been established that the best payback is typical for housing and communal services projects in the southern regions (for example, Sochi — 2.8 years). The EEZ calculation showed that the index for the plant was 0.34, and for the Sochi project — 0.32, which allows an objective comparison of the priority of projects.

Conclusions and prospects: The work shows that maximum efficiency is achieved by strategic combination and step-by-step integration of technologies based on the principle of "from simple to complex". A differentiated approach to the formation of energy saving programs for various industries is needed. The proposed EEZ index is a practical tool for substantiating investment decisions. The prospects for further research are related to the integration of ASE and renewable energy sources, the use of quantum sensors and algorithms, as well as the development of self-learning neural network models for predictive control and the creation of digital twins.

РЕЗЮМЕ

З.М. Курбанов, И.В. Хасамбиев, М.В. Дебиев, А.М. Дебиева, М.Ю. Хашамов
Автоматизированные системы энергосбережения
как ключевые технологии электроэнергетики

Актуальность: Актуальность работы обусловлена глобальными вызовами: ростом тарифов на энергоресурсы и ужесточением экологических требований. Согласно отчету МЭА (2023), меры по энергоэффективности могут обеспечить до 40% необходимого снижения глобальных выбросов CO₂ к 2050 году. В России повышение энергоэффективности является приоритетом Энергетической стратегии до 2035 года. Потенциал энергосбережения при использовании АСЭ, по данным Минэнерго РФ, достигает 25-40% в зависимости от отрасли, что делает их критически важным инструментом для предприятий и муниципалитетов.

Проблема: Отсутствие систематизированных подходов к комбинированию технологий АСЭ для достижения максимального эффекта. Необходимо решить задачу оптимального выбора и последовательности внедрения разнородных технологий — от базовых датчиков до сложных систем на основе ИИ — с учетом отраслевой специфики и экономических ограничений.

Цель работы: Разработать научно обоснованные принципы комбинирования технологий АСЭ для достижения максимального экономического и энергетического эффекта в различных отраслях экономики на основе анализа реальных кейсов внедрения.

Научная новизна: заключается в предложении принципа последовательной интеграции технологий, демонстрирующего кумулятивный эффект (на примере металлур-

гического комбината экономия выросла с 2% до 23% за три этапа внедрения). Впервые предложен индекс эффективности затрат (ИЭЗ), позволяющий количественно сравнивать разнородные проекты по энергосбережению. Систематизированы оптимальные комбинации технологий для промышленности, ЖКХ и коммерческой недвижимости.

Методология: включает анализ данных МЭА и Минэнерго РФ, case-study реализованных проектов (металлургический комбинат, умное освещение в Казани, Москве, Сочи, торговый центр), экономико-математическое моделирование (расчет ИЭЗ) и сравнительный анализ эффективности, сроков окупаемости и структуры затрат.

Результаты: подтвердили высокую эффективность АСЭ: достигнутая экономия составила 18-25% в промышленности, 22-30% в ЖКХ и 15-20% в коммерческой недвижимости. Выявлен кумулятивный эффект поэтапного внедрения технологий. Установлено, что наилучшая окупаемость характерна для проектов ЖКХ в южных регионах (например, Сочи — 2.8 года). Расчет ИЭЗ показал, что для завода индекс составил 0.34, а для проекта в Сочи — 0.32, что позволяет объективно сравнивать приоритетность проектов.

Выводы и перспективы: Работы свидетельствуют, что максимальная эффективность достигается стратегическим комбинированием и поэтапной интеграцией технологий по принципу «от простого к сложному». Необходим дифференцированный подход к формированию программ энергосбережения для различных отраслей. Предложенный индекс ИЭЗ является практическим инструментом для обоснования инвестиционных решений. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией АСЭ и возобновляемых источников энергии, применением квантовых сенсоров и алгоритмов, а также развитием самообучающихся нейросетевых моделей для предикативного управления и создания цифровых двойников.

Курбанов Зелимхан Магомедович – ассистент,
ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова",
кафедра «Информатика и вычислительная техника», 364051, Чеченская Республика,
г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100, тел. +7(928) 015-9158, zelimxn@mail.ru.
Область научных интересов: информационные системы, энергосберегающие технологии.

Хасамбиев Ибрагим Вахаевич – к.т.н., доцент,
ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова",
кафедра «Сети связи и системы коммутации», 364051, Чеченская Республика,
г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100, тел. 8 (928) 952-31-69, hiv_77@mail.ru.
Область научных интересов: теория электрических цепей, сетевые технологии.

Дебиев Майрбек Вахаевич – к.т.н., доцент,
ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова",
кафедра «Электротехника и электропривод», 364051, Чеченская Республика, г. Грозный,
пр-т им. Х.А. Исаева, 100, тел. 8 (928) 087-22-25, mair76@mail.ru. *Область научных интересов:* теория электрических цепей, проектирование электрических сетей.

Дебиева Амнат Майрбековна – студент,
ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова", кафедра «Электротехника и электропривод», 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100.

Хашамов Магомед Юнусович – студент,
ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова", кафедра «Электротехника и электропривод», 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100.

Статья поступила в редакцию 01.06.2025.