

УДК 621.316:681.518

Т.Ж. БЕЙСЕНОВА, Д.М. ДЖУАНЫШЕВА, студенты гр. ТФ-202

(НАО «Шәкәрім университет»)

Научный руководитель Е.Н. МЯСОЕДОВА,

магистр, (НАО «Шәкәрім университет»),

г. Семей

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Современные промышленные предприятия характеризуются высокой энергозависимостью и сложными схемами электроснабжения, что требует повышения энергоэффективности и надёжности энергосистем [1]. Традиционные методы регулирования, основанные на статических алгоритмах и ручных операциях, уже не обеспечивают необходимой адаптивности при изменении нагрузок и тарифов [2].

Внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) позволяет реализовать активный энергоменеджмент, включающий сбор, анализ и прогнозирование данных о состоянии энергосети [1, 4]. Это обеспечивает автоматическую оптимизацию режимов работы оборудования, снижение потерь и повышение стабильности энергоснабжения. Развитие технологий интернета вещей (IoT) и предиктивной аналитики способствует созданию энергоэффективных промышленных систем нового поколения [5, 6].

Цель работы – анализ возможностей повышения энергоэффективности электроснабжения промышленных предприятий за счёт внедрения интеллектуальных систем управления.

Задачи:

- рассмотреть принципы функционирования ИСУ;
- определить методы повышения энергоэффективности;
- проанализировать международный опыт применения;
- обозначить направления дальнейшего развития технологий.

1. Принципы интеллектуального управления энергосистемами

Интеллектуальные системы управления (ИСУ) представляют собой комплекс аппаратных и программных средств для мониторинга, анализа и регулирования параметров электроснабжения [1, 2]. В отличие от традиционных систем, они используют адаптивное и предиктивное управление, учитывающее изменения нагрузки, состояние оборудования и тарифные колебания.

ИСУ принимают решения на основе анализа данных, поступающих с датчиков и измерительных устройств. Основные параметры – напряжение, ток, мощность, температура и вибрации оборудования. Информация обрабатывается на цифровых платформах с применением алгоритмов машинного обучения и предиктивной аналитики [3, 5].

Центральный модуль прогнозирует развитие режимов энергопотребления и формирует управляющие воздействия, что позволяет снижать потери электроэнергии и предотвращать перегрузки [1]. Управляющие сигналы поступают на контроллеры и преобразователи частоты, обеспечивая автоматическое регулирование в реальном времени.

Пример: на машиностроительном предприятии ИСУ анализирует загрузку производственных линий и снижает частоту вращения двигателей при неполной мощности, уменьшая энергопотребление без потери производительности. При росте нагрузки система заранее повышает мощность, предотвращая скачки напряжения и износ оборудования.

Интеграция технологий IoT, SCADA и облачных платформ повышает прозрачность энергопотребления, снижает эксплуатационные затраты и повышает надёжность электроснабжения [4, 6].

2. Методы и технологии повышения энергоэффективности

Повышение энергоэффективности промышленных предприятий достигается за счёт внедрения интеллектуальных технологий, обеспечивающих оптимизацию режимов электроснабжения и снижение потерь энергии [2]. Одним из ключевых методов повышения энергоэффективности является предиктивное управление, основанное на прогнозировании состояния энергосистемы и корректировке управляющих воздействий с учётом будущих изменений нагрузки. Такой подход позволяет предотвращать пиковые значения потребления и снижать потери электроэнергии [3, 5].

С математической точки зрения задача интеллектуального управления может быть представлена как задача минимизации функционала энергопотребления:

$$J = \sum_{t=1}^T (P(t) \cdot C(t) + \lambda \cdot |\Delta P(t)|^2) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $P(t)$ – потребляемая мощность в момент времени t ; $C(t)$ – стоимость электроэнергии; $\Delta P(t)$ – изменение нагрузки между шагами; λ – коэффициент, определяющий степень сглаживания колебаний нагрузки.

Проще говоря, система старается равномерно распределять энергопотребление во времени, избегая резких скачков и используя электроэнергию в периоды низких тарифов. Например, ночью может выполняться зарядка аккумуляторов или нагрев воды, чтобы днём снизить нагрузку на сеть.

Оптимизация функционала обеспечивает выбор режима работы оборудования, при котором энергозатраты минимальны при сохранении стабильности и качества электроснабжения.

Важным направлением является оптимизация электроприводов. Применение преобразователей частоты и интеллектуальных регуляторов снижает энергопотребление, пусковые токи и износ оборудования [2].

Компенсация реактивной мощности осуществляется с помощью автоматических установок и адаптивных регуляторов, поддерживающих оптимальный коэффициент мощности и уменьшающих потери [1, 4].

Централизованный контроль обеспечивают автоматизированные системы управления электроэнергией (АСУЭ) и энергоменеджмента (EMS), выявляющие неэффективные режимы и предлагающие пути их оптимизации [2, 6].

Использование технологий интернета вещей и искусственного интеллекта позволяет контролировать потребление, прогнозировать аварии и корректировать графики работы оборудования в реальном времени [5]. Это формирует концепцию интеллектуального энергоменеджмента, основанного на прогнозных моделях и аналитике [1, 6].

3. Практические решения и международный опыт

Мировая практика показывает, что внедрение ИСУ на промышленных предприятиях повышает энергоэффективность и устойчивость электроснабжения [4, 5].

В Японии реализуются проекты Smart Energy Communities, где предиктивные алгоритмы управляют распределением мощности между источниками и нагрузками [4]. Например, в промышленной зоне Осаки система снижает подачу энергии на вспомогательное оборудование в часы пикового потребления, перенаправляя её на основные линии, что сокращает энергозатраты примерно на 12 %.

В Южной Корее платформы промышленного интернета вещей (IIoT) объединяют энергосистемы и технологическое оборудование, позволяя снизить энергопотребление на 15–20 % [5].

В Германии в рамках концепции Industrie 4.0 применяются цифровые двойники и предиктивное обслуживание сетей, повышающие надёжность и эффективность оборудования [4].

В США ИСУ используются на предприятиях и кампусах, где предиктивный анализ оптимизирует потребление с учётом тарифов и погодных условий [5]. Так, на заводах Калифорнии система включает охлаждение ночью при низком тарифе, а днём использует накопленный холод, снижая нагрузку на сеть.

В Казахстане цифровизация энергетики направлена на внедрение систем мониторинга, АСУЭ и предиктивной диагностики, что повышает прозрачность и снижает неучтённые потери электроэнергии [6].

Таким образом, международный опыт подтверждает, что интеллектуальные системы управления обеспечивают переход промышленности к проактивному энергоменеджменту и устойчивому развитию [1, 6].

4. Эффективность и результаты внедрения

Внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) обеспечивает повышение энергоэффективности и надёжности промышленных энергосетей [2, 5].

Главный результат – сокращение энергопотребления за счёт оптимизации режимов оборудования и балансировки нагрузок. Экономия достигает 10–20 % от базового уровня [1, 4]. Например, на металлургических предприятиях автоматическое регулирование работы электропечей позволило снизить расход электроэнергии на тонну продукции на 15 %, перераспределяя нагрузку на периоды низких тарифов.

ИСУ также повышают надёжность электроснабжения, обеспечивая раннее выявление неисправностей и предотвращение аварий [2]. Предиктивная диагностика даёт возможность планировать ремонты по фактическому состоянию оборудования, снижая простои почти вдвое [6].

Кроме того, системы уменьшают пиковые нагрузки, используя резервные источники энергии и перераспределяя мощность, что стабилизирует сеть и предотвращает штрафы за превышение лимитов [4].

Интеграция ИСУ с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) способствует формированию гибридных энергокомплексов, повышающих экологическую устойчивость предприятий [5]. Например, использование солнечных панелей и аккумуляторов позволяет частично компенсировать потребление из сети и сократить выбросы CO₂ на 8–10 %.

Реализация подобных решений способствует цифровой трансформации промышленности и достижению целей устойчивого развития Казахстана, снижая углеродный след и модернизируя энергетическую инфраструктуру [6].

Вывод

Применение интеллектуальных систем управления в электроснабжении промышленных предприятий является важным направлением повышения энергоэффективности и надёжности энергетической инфраструктуры. Интеграция цифровых технологий, предиктивных алгоритмов и систем анализа данных обеспечивает оптимизацию режимов энергопотребления и снижение эксплуатационных затрат [1–3].

Практическое внедрение интеллектуальных решений способствует уменьшению пиковых нагрузок, предотвращению аварийных ситуаций и рациональному использованию энергетических ресурсов [4, 5]. Использование технологий интернета вещей, АСУЭ и цифровых двойников

повышает прозрачность процессов электроснабжения и позволяет переходить к проактивному энергоменеджменту [6].

Развитие интеллектуальных систем управления формирует основу цифровой трансформации промышленной энергетики, обеспечивая баланс между экономичностью, надёжностью и экологической устойчивостью энергоснабжения. Эти технологии создают предпосылки для построения энергоэффективных и адаптивных промышленных комплексов нового поколения.

Список литературы:

1. Каменева, М.А., Лаптев, А.В. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением промышленных предприятий // Вестник энергетики. – 2022. – № 6. – С. 45–52.
2. Логинов, С.В., Ефимов, Д.Ю. Повышение энергоэффективности промышленных предприятий за счёт цифровизации систем электроснабжения // Энергосбережение. – 2023. – № 2. – С. 17–25.
3. Афрам, А., Джанаби-Шарифи, Ф. Применение предиктивного управления в системах HVAC: обзор теории и практики // Building and Environment. – 2014. – Vol. 72. – P. 343–355.
4. European Commission. Smart Energy Management Systems for Industry: Joint Research Centre Report. – Luxembourg: Publications Office of the EU, 2021. – 60 p.
5. Lee, D., Shin, S., Kim, J. Application of predictive control algorithms in industrial power systems for energy optimization // Energy Procedia. – 2019. – Vol. 159. – P. 424–430.
6. Сатыбалдиева, А.Ж., Имангалиев, Д.А. Цифровизация энергетических систем в промышленности Казахстана // Энергетика и промышленность Казахстана. – 2023. – № 4. – С. 21–27.

Информация об авторах:

Бейсенова Тоғжан Жұмағазықызы, студент гр. ТФ-202, НАО «Шәкәрім университет», 071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, д. 20 А, togzanbejsenova125@gmail.com

Джуанышева Дильназ Маратовна, студент гр. ТФ-202, НАО «Шәкәрім университет», 071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, д. 20 А, dilnaz.d1910@icloud.com

Мясоедова Екатерина Николаевна, магистр, преподаватель, НАО «Шәкәрім университет», 071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, д. 20 А, Kate_white89@mail.ru