

Научная статья
УДК 620.91:624.92
doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-108-114

Повышение энергоэффективности электропривода энергетических средств

Аслан Анатольевич Кумахов^{✉1}, Амур Григорьевич Фиапшев²,
Залимхан Русланович Кудав³, Саид Хасанович Кушаев⁴

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹kumahov071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4760-3496>

²energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

³zalimhan007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7446-4583>

⁴kushaev1969@mail.ru

Аннотация. Повышение цен на коммунальные услуги в России происходит каждый год, поэтому в современном обществе, так же как в производственной сфере, экономия является главным показателем успешного развития. В связи с этим эффективное использование электроэнергии является одним из важных показателей, так как она является одной из дорогих ресурсов и может привести к серьезным затратам. Производственные предприятия всеми силами стараются уменьшить свои расходы на электроэнергию, стараются следить за всеми сберегающими нововведениями и применять их в своей деятельности. Предприятия вынуждены экономить на электроэнергии, иначе им на конкурентном рынке не выжить. Существует большое количество путей для экономии электроэнергии, однако не все они эффективны. Предприятие устанавливает жесткие требования контроля над режимом горения осветительных приборов во всем здании, устанавливает приборы автоматического отключения, постоянно обновляет установленное оборудование. Предприятия, в основном, используют одни и те же технологии для экономии электроэнергии. Рассмотрены подробно некоторые из них и выявлено какие из них являются действительно эффективными и могут экономить электроэнергию, сохраняя деятельность организации на высоком уровне. Некоторые предприятия используют прямую экономию электрической энергии, что приводит к уменьшению расходов за счет использования оборудования, которое использует энергию меньше, чем альтернативное. Установка такого оборудования может осуществляться только при имеющихся данных энергопотребления. Для выявления этих данных на производстве устанавливают специальную автоматизированную информационно-измерительную систему. Энергоэффективность электроприводов энергетических средств малых предприятий будет существенно отличаться от масштабных производств. Поэтому выбор каждого электропривода должен быть индивидуальным.

Ключевые слова: энергоэффективность, электроэнергия, электропривод, экономия энергии, автоматизированные системы, осветительные приборы, преобразователи частоты

Для цитирования. Кумахов А. А., Фиапшев А. Г., Кудав З. Р., Кушаев С. Х. Повышение энергоэффективности электропривода энергетических средств // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова, 2024. № 3(45). С. 108–114. doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-108-114

Original article

Improving the energy efficiency of the electric drive of energy facilities

Aslan A. Kumakhov^{✉1}, Amur G. Fiapshv², Zalimkhan R. Kudaev³, Said Kh. Kushaev⁴

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik,
Russia, 360030

¹kumahov071@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4760-3496>

²energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

³zalimhan007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7446-4583>

⁴kushaev1969@mail.ru

Abstract. An increase in prices for utility services in Russia occurs every year, therefore, in modern society, as well as in the production sector, savings are the main indicator of successful development. In this regard, the efficient use of electricity is one of the important indicators, since it is one of the most expensive resources and can lead to serious costs. Manufacturing enterprises are trying their best to reduce their energy costs, trying to monitor all saving innovations and apply them in their activities. Enterprises are forced to save on electricity; otherwise they simply cannot survive in a competitive market. There is a huge number of ways to save energy, but not all of them are effective. The company sets strict requirements for controlling the combustion mode of lighting fixtures throughout the building, installs automatic shutdown devices, and constantly updates installed equipment. Businesses largely use the same technologies to save energy. Some of them are examined in detail and it is revealed which of them are truly effective and can save energy while maintaining the organization's activities at a high level. Some businesses take advantage of direct energy savings, which results in lower costs by using equipment that uses less energy than alternatives. Installation of such equipment can only be carried out if energy consumption data is available. To identify this data, a special automated information and measurement system is installed in production. The energy efficiency of electric drives of energy equipment of small enterprises will differ significantly from large-scale production. Therefore, the choice of each electric drive must be individual.

Keywords: energy efficiency, electric power, electric drive, energy saving, automated systems, lighting devices, frequency converters

For citation. Kumakhov A.A., Fiapshev A.G., Kudaev Z.R., Kushaev S.Kh. Improving the energy efficiency of the electric drive of energy facilities. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2024;3(45):108–114. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-108-114

Введение. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета энергоресурсов (АИИС КУЭ) обязательно должна быть сертифицирована по требованиям рынка электроэнергии, только после сертификации она может быть использована как расчетная и принимать участие в торговых рынках. АИИС КУЭ могут использовать, как организации, так и посредники. Такая прямая покупка электрической энергии ведет к снижению затрат поставщиков и использование ее по более низкой цене. В таком случае предприятие не платит комиссионные проценты, которые включены в тарифы электроэнергии при использовании данной системы, предприятие имеет возможность выбирать поставщиков, повышая конкуренцию на рынке сбыта. Повысить экономию можно и за счет перераспределения потребленной энергии в рабочее время. Все организации имеют одинаковые показатели использования электрической энергии в течение суток, что заставляет их контролировать мощность подаваемого топлива [1–5].

Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета энергоресурсов (АИИС ТУЭ) призвана по-

мочь предприятию перераспределять нагрузку из основного времени, когда тарифы высоки, на ночное, когда цена имеет наименьшие показатели. Систему используют большие предприятия, имеющие мощные потребители энергии. При установке АИИС ТУЭ предприятие имеет возможность выбрать оптимальный для них тариф. При соблюдении всех показателей системы можно сократить общие затраты на электроэнергию. Оптимальным считается объединение коммерческого учета с техническим и построение двухфакторной системы, способствующей упрощению его внедрения и технического обслуживания [6–9].

Цель исследования – повышение энергоэффективности электропривода энергетических средств путем разработки автоматизированной информационно-измерительной системы по учету энергетических ресурсов.

Материалы, методы и объекты исследования. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии представляет собой систему, состоящую из первичных измерительных преобразователей – микропроцессорных счетчиков электроэнергии с цифровым интерфейсом, устройств сбора и пере-

дачи данных (УСПД) информационно-вычислительного комплекса электроустановки (ИВКЭ), средств связи и информационно-вычислительного комплекса автоматизированной информационно-измерительной системы учета электроэнергии. Счетчики электрической энергии с цифровыми выходами (интерфейс RS485) производят измерения и вычисления потребленной активной и реактивной энергии и мощности. Интервал времени усреднения мощности для коммерческого учета установлен равным 30 минутам. Счетчики автоматически записывают в память измеренные величины (приращения активной и реактивной электроэнергии) на глубину не менее 35 сут. для 30 минутных архивов.

Передача информации со счетчиков ИИК в УСПД ИВКЭ осуществляется по запросу УСПД в цифровом виде по интерфейсам RS-485 и Ethernet. Сбор данных на объектах учета обеспечивает УСПД – специализированный контроллер, который входит в состав информационно-вычислительного комплекса электроустановки, предназначенного для обработки и хранения информации коммерческого учета электроэнергии и мощности, а также для передачи данной информации в ИВК. Передача информации из УСПД (устройств сбора и передачи данных) в сервер ИВК осуществляется по запросу ИВК в цифровом виде в среде Ethernet. ИВК предназначен для получения информации из ИВКЭ, обработки и хранения информации о потребленной электроэнергии и мощности, формирования учетно-отчетных документов, обеспечения регламентированного доступа к накопленной и оперативной информации всем локальным пользователям системы [10–11].

Для единства измерений в АИИСКУЭ используется система обеспечения единого времени. СОЕВ (система обеспечения единого времени) выполняет функцию измерения времени и обеспечивает синхронизацию времени на всех уровнях АИИСКУЭ. Передача отчетно-учетной информации коммерческого учета с уровня ИВК АИИСКУЭ во внешние информационные системы организуется в формате макетов XML с формированием электронно-цифровой подписи (ЭЦП). Передача осуществляется средствами электронной почты по сети Интернет с ис-

пользованием по каналам двух независимых провайдеров сети Интернет (основной и резервный каналы связи). Информационное взаимодействие между автоматизированными рабочими местами и сервером АИИСКУЭ организуется по локальной вычислительной сети предприятия с использованием стека протоколов TCP/IP. 16 БР.44.03.04.123.2018. При выходе из строя технических средств, обеспечивающих автоматический сбор показаний от электросчетчиков (повреждение кабельной инфраструктуры, УСПД), сбор данных от электросчетчиков производится методом непосредственного считывания показаний с оптопортов счетчиков с использованием ноутбука и оптической головки с последующей записью в базу данных АИИСКУЭ.

Рост количества электроприводов на производстве объясняется тем, что данные приборы позволяют повышать уровень энергоэффективности в здании. При использовании электроприводов наблюдается снижение расхода энергии на обычных двигателях.

Результаты исследования. Развитие рынка энергосберегающих устройств позволяет выпускать дешевые, но при этом эффективные, быстродействующие и надежные показатели частот, что обуславливает применение ручных электроприводов. Данный тип позволяет экономить электрическую энергию за счет возможности подсчета использованной энергии и совершенствования механизма работы системы. Устройство можно контролировать при помощи компьютера, синхронизируя их работу, а также анализируя его деятельность.

Главным плюсом преобразователей является их простота в использовании. Лицо, внедряющее преобразователь, может самостоятельно решить, какой механизм – автоматизированный или ручной он хочет. То есть, проводится примерный расчет, позволяющий понять, какой путь поможет повысить показатели производительности и в каком случае можно сэкономить на трудовых ресурсах. Настройки электропривода достаточно понятны и легки. Существует программное обеспечение, в котором поэтапно описываются настройки, существуют сетевые режимы, которые призваны повысить уровень конкурентоспособности производимых устройств.

Для энергоэффективного применения любого вида двигателя, особенно асинхронного, на современном этапе разрабатываются магнитные и электропроводящие материалы, позволяющие повысить показатели полезности их действия. Обусловлено это тем, что требования к работе двигателей были ужесточены.

При осуществлении энергосберегающего алгоритма возникает проблема снижения перегрузочной способности двигателя при уменьшении напряжения питания. Система управления должна восстанавливать магнитный поток при механическом возмущении, т. е. реагировать на увеличение тока. Критический момент в данном случае пропорционален квадрату напряжения и может быть рассчитан по формуле:

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2w_0 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + w_{0s}^2 (L_1 + L_2)} \right]}$$

где:

U_1 – действующее значение напряжения, приложенного к электродвигателю;

w_0 – угловая скорость электродвигателя, которая при расчете электромагнитного момента M дает результат $M=M_c$ (M_c – момент нагрузки);

R_1 – сопротивление материала статора;

w_{0s} – угловая скорость электродвигателя;

L_1 – индуктивность статора;

L_2 – индуктивность ротора.

Таким образом, наиболее приемлемым методом оптимизации энергопотребления для преобразователей со скалярным управлением следует признать метод минимизации потребляемой мощности.

При увеличении коэффициента полезного действия, следует учесть, что к каждому виду двигателей поставлены определенные проценты, на которые необходимо их повысить. Примером такого увеличения может служить самый простой двигатель малой мощности, который при использовании современных материалов повысил свою полезность относительно устаревших приборов почти на десять процентов. Следует отметить, что на производстве двигатели используются лишь на 70% от своей возможной мощности.

Внедрение данных типов электродвигателей позволит сэкономить более сорока процентов затрат на потребление энергии. Также экономия будет и в сроках эксплуатации, они могут

прослужить почти на половину больше обычного, при сроке использования до трех лет.

Возможность улучшения показателей коэффициента полезного действия позволяет автоматически уменьшать потери от нагрева двигателя, что обеспечивает сокращение времени работы узлов двигателя и снижение расходов на эксплуатацию. Также снижается шумовой уровень за счет менее шумных вентиляторов.

Еще один вид электроприводов – это системы, обеспечивающие водоснабжение, теплоизоляцию и вентиляцию. Они действуют циклично при изменении нагрузки на протяжении дня.

Преимущество данного электропривода состоит в возможности ее регулирования, исходя из потребляемой мощности за определенный период времени.

Для достижения этой цели механизм регулируется преобразователем частоты. Он меняет отношение подаваемых в двигатель напряжений и частоты питания, заставляя двигатель потреблять ровно столько мощности, сколько необходимо для полной нагрузки. Менять подаваемое напряжение можно как вручную, при помощи пульта управления, так и автоматически, с помощью датчиков давления и расхода. Для безопасного включения мощностей и напряжений необходимо, чтобы датчик имел панель управления, регуляторы, защиту от внешних температур, защиту от перенапряжений. Соответствие датчика вышеперечисленным критериям позволит сделать его более доступным и понятным.

При таких датчиках электрическая энергия экономится на 70% больше, чем в устаревших датчиках, при этом сокращается расход на тепло и воду.

Некоторые производства используют свойства дополнительной электроэнергии. Для этого они настраивают датчик так, что датчик работает на большой сектор, а изменения зависят от нагрузки и скорости.

Все электрические двигатели имеют свои плюсы и минусы. Каждый из них может использоваться на производстве при соблюдении современных требований экономии энергетических ресурсов. Однако на пользование электроприводами влияние оказывает и их стоимость. Покупатель хочет при минимальной цене получить качественный и эконо-

мичный прибор. В последние годы часто можно услышать мнение о нецелесообразности покупки неавтоматизированного оборудования.

Доказательством данной теории могут послужить следующие преимущества автоматизированного оборудования:

- производство приобретает новые линии энергетической эффективности;
- экономия в сфере энергетики повышается за счет циклических режимов двигателей;
- срок службы двигателей возрастает почти в полтора раза, что позволяет решать задачи, не перегружая при этом электрические линии;
- возможность ведения учета данных от сети управления электропривода с помощью компьютера и анализ для последующей деятельности;
- простота в использовании всей новой техники, позволяющая приспособиться к ним всем работникам;
- возможность управления оборудованием удаленно.

Реализация всех этих преимуществ не требует особых усилий, если начать использовать системы автоматизированных электроприводов.

Нельзя не отметить, что запуск электропривода может быть плавным за счет ускоряющего управления регулятором скорости

подачи электричества, а также за счет определения точечных позиций для перегрузов. Это даст возможность работать сразу с несколькими двигателями одновременно, сокращая рабочее время.

Область применения. Результаты исследования рекомендуется применить в области энерго- и ресурсосбережения.

Выводы. При установке АИИС ТУЭ предприятие имеет возможность выбрать оптимальный для них тариф. При соблюдении всех показателей системы можно снизить общие затраты на электроэнергию, в том числе энергопотери на применяемые виды электропривода.

Каждый вид электропривода имеет свои особенности. При применении любой из этих систем следует учитывать объемы производственной деятельности, площадь здания и, конечно же, экономию, которую организация перед собой ставит. Энергоэффективность электроприводов энергетических средств малых предприятия будет существенно отличаться от масштабных производств. Поэтому выбор каждого электропривода должен быть индивидуальным, только при соблюдении заданных параметров и реализации целей по экономии электроэнергии можно рассчитывать на ведущие позиции на конкурентном рынке.

Список литературы

1. Чапаев А. Б., Бозиева Ю. Г. Способы реализации мероприятий по энергосбережению с применением энергосервисных договоров // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Том 7. № 5. С. 25. DOI: 10.15862/213TVN515. EDN: VJKRJD
2. Чапаев А. Б. Пути повышения энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов // Символ науки. 2015. № 11. С. 62.
3. Юров А. И., Фиапшев А. Г., Кильчукова О. Х. Ресурсосбережение и экология – стимул экономического роста и основа безопасности жизнедеятельности региона // Вестник АПК Старополя. 2014. № 3(15). С. 81–86. EDN: SZBVJP
4. Фиапшев А. Г., Кильчукова О. Х., Юров А. И. Альтернативная энергетика на Северном Кавказе // Вестник ВИЭСХ. 2014. № 4(17). С. 16–19. EDN: TGITCP
5. Фиапшев А. Г., Хамоков М. М., Кильчукова О. Х. Проблемы энергоснабжения предприятий КБР // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 63–68.
6. Чапаев А. Б., Кареев Х. М., Сохроков А. М. Метод тепловизионного контроля как способ повышения энергоэффективности и энергетической безопасности // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2017. № 6(63). С. 32–35. EDN: YSPEYE
7. Бадьин Г. М. Строительство и реконструкция малоэтажного энергоэффективного дома. Москва, 2011. С. 17–21.
8. Бродач М. М., Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. Санкт-Петербург: Питер, 2015. С. 43.

9. Технологии строительства пассивного энергосберегающего дома. URL: <http://proekt-sam.ru/proektdoma/passivnyj-dom-principy-i-tekhnologii-stroitelstva.html>.

10. Кудяев З. Р., Кумахов А. А. К вопросу энерго- и ресурсосбережения // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 4(34). С. 45–52. EDN: ZVCAPQ

11. Кудяев З. Р., Кумахов А. А., Фиапшев А. Г., Кильчукова О. Х., Кумахова Д. А. «Пассивный дом» как технология энергосберегающего строительства // International agricultural journal. Том. 64. № 5. 2021. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10379. EDN: TVLMQI

References

1. Чапаев А.В., Bozieva Yu.G. methods of implementation of measures for energy conservation with energy service contracts. *On-line Journal «Naukovedenie»*. 2015;7№5:25. (In Russ.). DOI: 10.15862/213TVN515. EDN: VJKRJD

2. Чапаев А.В. Ways to increase the energy efficiency of using fuel and energy resources. *Symbol of science*. 2015;(11):62.

3. Yurov A.I., Fiapshev A.G., Kilchukova O.Kh. Resursosberezhenie i ekologiya – stimul ekonomicheskogo rosta i osnova bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti regiona. *Agricultural Bulletin of Stavropol region*. 2014;3(15):81–86. (In Russ.). EDN: SZBVJP

4. Fiapshev A.G., Kilchukova O.Kh., Yurov A.I. Alternative energy in the North Caucasus. *Vestnik VIESKh*. 2014;4(17):16–19. (In Russ.). EDN: TGITCP

5. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh. Problems of energy support of the enterprises of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1 27):63–68. (In Russ.)

6. Чапаев А.В., Кarezhev Kh.M., Sokhrokov A.M. A method of nondestructive testing as a way to increase energy efficiency and energy safety. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2017;6(63):32–35. (In Russ.). EDN: YSPEYE

7. Badin G.M. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya maloetazhnogo energoeffektivnogo doma* [Construction and reconstruction of a low-rise energy-efficient building]. Moscow, 2011. P. 17–21. (In Russ.)

8. Brodach M.M., Tabunshchikov Yu.A., Shilkin N.V. *Energoeffektivnyye zdaniya* [Energy efficient buildings]. Saint Petersburg: Piter, 2015. P. 43. (In Russ.)

9. *Tekhnologii stroitel'stva passivnogo energosberegayushchego doma* [Technologies for constructing a passive energy-saving house]. URL: <http://proekt-sam.ru/proektdoma/passivnyj-dom-principy-i-tekhnologii-stroitelstva.html>. (In Russ.)

10. Kudaev Z.R., Kumakhov A.A. On the issue of energy and resource conservation. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;4(34):45–52. (In Russ.). EDN: ZVCAPQ

11. Kudaev Z.R., Kumakhov A.A., Fiapshev A.G., Kilchukova O.Kh., Kumakhova D.A. "Passive house" as an energy-saving construction technology. *International agricultural journal*. 2021;64(5). DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10379. (In Russ.). EDN: TVLMQI

Сведения об авторах

Кумахов Аслан Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8661-7780

Фиапшев Амур Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

Кудаев Залимхан Русланович – старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 5253-0367, Scopus ID: 57214223435

Кушаев Саид Хасанович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 4154-6929

Information about the authors

Aslan A. Kumakhov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8661-7780

Amur G. Fiapshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

Zalimkhan R. Kudaev – Senior Lecturer, Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 5253-0367, Scopus ID: 57214223435

Said Kh. Kushaev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 4154-6929

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 15.05.2024;
одобрена после рецензирования 31.05.2024;
принята к публикации 10.06.2024.*

*The article was submitted 15.05.2024;
approved after reviewing 31.05.2024;
accepted for publication 10.06.2024.*