



УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Ибрагимов Айбулат Зуфарович**

магистрант кафедры электромеханики

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

**Аннотация.** Рассматриваются особенности методов повышения эффективности работы систем энергоснабжения. Особое внимание уделяется вопросам подавления высших гармоник в системе электроснабжения и внедрению активно-адаптивных сетей. Приведены причины, вызывающие значительные технологические потери, снижающие эффективность функционирования, развития системы электроснабжения промышленных предприятий. Осуществление модернизации и реконструкции действующих систем электроснабжения является необходимым решением данной проблемы в условиях растущей конкуренции национальной промышленности для обеспечения надежного и бесперебойного выпуска конечной продукции на рынок.

Целью работы является комплексный анализ технико-экономических показателей и доступных способов улучшения энергоснабжения промышленных предприятий, проведение энергоаудита существующих сетей для сбережения электроэнергии.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электроснабжение, потери электроэнергии.

### Введение

Повышение эффективности систем энергоснабжения (СЭС) – одна из приоритетных задач в энергетике. Внимание к этой теме вызвано необходимостью сбережения электроэнергии, исключения её потерь, снижения аварийных ситуаций на производстве. Все эти проблемы являются крайне важными в современных условиях развития российской экономики. От правильности и оперативности их решения во многом зависит конкурентоспособность того или иного предприятия на рынке. В настоящее время существует целый ряд методов повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий. В данной статье рассматриваются наиболее актуальные и перспективные из них.

### Теоретическая часть

**Энергетическая эффективность** – это совокупность характеристик, которые отражают отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Основным



критерием оценки эффективности функционирования и развития СЭС предприятий, в том числе мероприятия по снижению потерь электрической энергии (ЭЭ), является надежное и экономичное снабжение потребителей ЭЭ требуемого качества [1].

**Класс энергетической эффективности** – характеристика продукции, отражающая энергетическую эффективность [2, 6].

Вложение инвестиций непосредственно в энергоэффективность промышленных предприятий действительно является экономически выгодным мероприятием.

В связи с этим на первый план выходит необходимость более рационального использования энергоресурсов промышленными предприятиями. Ведь именно они являются самыми крупными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Повышение энергоэффективности – это приоритетный фактор снижения производственных затрат, который положительно отражается на прибыли компаний-производителей.

Заинтересованность руководства предприятий в повышении энергоэффективности должна быть высокой, так как она приводит к следующим результатам:

- снижению затрат на энергоносители;
- повышению рентабельности;
- улучшению качества продукции;
- позитивному имиджу предприятия;
- повышению конкурентоспособности и стоимости предприятия.

Однако анализ систем электроснабжения и энергетической эффективности промышленных предприятий часто выявляет нерациональные затраты энергоресурсов и неоправданные потери электрической энергии.

Потери электроэнергии происходят непосредственно во время процесса ее передачи в элементах системы электроснабжения (трансформаторных подстанциях, распределительных устройствах, линиях электропередач).

В национальных сетях электроэнергия передается по высоковольтным линиям в виде синусоидальных волн напряжения и силы тока с частотой 50 Гц, причем одновременно передаются три волны (фазы), сдвинутые относительно друг друга на  $120^\circ$ .

С целью минимизации потерь электроэнергии при её передаче применяется высокое напряжение, а при входе на объект потребителя или вблизи конкретной установки осуществляется понижение напряжения в зависимости от используемого оборудования. Как правило, напряжение для промышленных потребителей понижается до 440 В, а для домохозяйств, офисов и т. п. – до 240 В.

Качество электроснабжения и условия использования энергии зависят от различных факторов, включая сопротивление электрических сетей, а также влияние некоторых видов



оборудования и использования энергии на характеристики энергоснабжения. В энергетических системах крайне желательны стабильность напряжения, а также отсутствие искажений формы волн [3].

Рассчитать потери ЭЭ в промышленной сети можно в соответствии с инструкцией Минэнерго по расчету потерь ЭЭ [4, 5].

Для того чтобы устранить потери ЭЭ, следует предпринять поиск источников и причин их возникновения. Высокая доля потерь в СЭС промышленных предприятий возникает в основном из-за эксплуатации устаревшего и изношенного оборудования, состояние которого требует срочного ремонта, а также из-за отсутствия внедрения контрольных автоматизированных систем слежения и регулирования расходов электропотребления и несоответствия современным требованиям стандартов учета.

Существенные технологические потери ЭЭ в СЭС предприятий, как правило, вызваны следующими причинами:

- неудовлетворительным состоянием действующих электрических сетей из-за снижения объемов капитальных ремонтов, реконструкции и замены технически устаревшего и изношенного оборудования;
- вынужденной работой элементов СЭС в неоптимальных режимах при повышенном электропотреблении в часы максимальных нагрузок;
- эксплуатацией цеховых трансформаторов с низким коэффициентом загрузки;
- наличием значительных перетоков реактивной мощности в электрических сетях, которые приводят не только к увеличению потерь электроэнергии, но и к снижению их пропускной способности, увеличению потерь напряжения;
- наличием на предприятии нагрузок, вызывающих несинусоидальность и несимметрию фаз при отсутствии мероприятий по их устранению. Перекос фаз вызывает несимметрию токов, которые, в свою очередь, вызывают несимметрию напряжений и оказывает негативное воздействие на работу всех электроприемников. Негативные последствия: повреждения, отказы, увеличение износа, уменьшение периода эксплуатации, ускоренное старение изоляции электрооборудования, увеличение энергопотребления [1];
- нерациональными режимами работы основного электрооборудования;
- устаревшими схемами питающих и распределительных сетей;
- стабильной неравномерностью суточных графиков нагрузок;
- существенными отклонениями показателей качества электроэнергии ПКЭЭ от нормируемых;
- ростом числа нелинейных и резкопеременных электроприемников [7].

Мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности производственной



компании, в первую очередь необходимо рассматривать с точки зрения экономического роста. Помимо этого следует учитывать экологичность производства и возможность улучшения социально-бытовой обстановки. Главное, это не должна быть бесцельная экономия, которая к тому же наносит ущерб производству.

Реализация мер, направленных на более экономное расходование энергоносителей, обеспечивается путем проведения мероприятий по энергосбережению. Достижению поставленной цели также способствуют:

- внедрение современных систем учета;
- применение на практике инновационных технологий и новейших разработок в сфере электротехники;
- разработка продуктивных финансово-экономических методов управления производственными процессами, потреблением и транспортировкой ТЭР.

Необходимость рационального расходования энергоресурсов сложно назвать новой идеей как для России, так и для мирового сообщества. Во многих странах мира к этому вопросу относятся как к неотъемлемой (в некоторых случаях даже как к ключевой) части любого технического проекта.

На практике само понятие термина «энергосбережение» означает продуманный и взвешенный подход к использованию топливно-энергетических ресурсов. Постоянный рост тарифов, необходимость повышения рентабельности производственных процессов и конкурентоспособности выпускаемой продукции мотивируют отечественных производителей расходовать энергоносители более разумно.

Идея энергоэффективности получила дополнительный импульс к конкретным действиям после вступления России в ВТО. Это событие стимулировало рост конкуренции на внутреннем и внешнем рынках, в то время как опыт других стран наглядно продемонстрировал, что тратить меньше при аналогичном или даже большем объеме производства готовой продукции вполне реально.

В то же время поиск и реализация оптимальных решений возможны лишь в том случае, если присутствует четкое понимание алгоритма, с помощью которого это можно сделать. Как показывает опыт, повышение энергоэффективности достигается за счет разработки и внедрения энергосберегающих проектов. Весь комплекс таких мероприятий условно можно разделить на четыре этапа:

1. Самым первым шагом на пути к поставленной цели должен стать сбор достоверной информации о реальном энергопотреблении с оценкой потерь электроэнергии. Для этого используются специально разработанные и проверенные на практике методики проведения энергоаудита. В ходе проверки более пристальное внимание должно быть уделено



техническому состоянию предприятия, режимам работы производственных линий и электрооборудования, а также исследованию всех тонкостей технологического процесса с целью выявления «слабого» звена.

Также анализ поможет понять, насколько выгодно владелец компании приобретает энергоресурсы у поставщика, правильно ли они расходуются, оценить полноту контроля над процессом энергопотребления и будет ли выгодным внедрение более современных технологий.

2. На следующем этапе разрабатывается индивидуальная программа энергосбережения. По сути это экономически обоснованный список мер, включающий организационные и технические мероприятия, которые позволят обеспечить рациональное использование и экономию ТЭР. В документе должно быть приведено детальное технико-экономическое обоснование, на основании которого в дальнейшем может быть разработан целевой инвестиционный проект.

Энергоэффективность предприятия будет напрямую зависеть от правильности плана мероприятий, составленного на основании тщательно проведенного анализа. Поэтому важно включить в программу энергосбережения обязательные мероприятия, проведение которых необходимо в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов (например, оснащение счетчиками всех административных зданий, производственных и складских, оптимизация рабочих мест). Также в плане должны быть мероприятия, которые проводить необязательно, но они принесут экономическую выгоду (например, модернизация оборудования).

3. Следующим шагом должна стать реализация утвержденного плана действий. Для этого могут быть использованы наиболее выгодные для промышленного предприятия способы финансирования: от собственных средств до привлечения инвестиций и заемных ресурсов.

4. На четвертом, завершающем этапе необходимо провести исследование результатов проделанной работы. Только мониторинг состояния производственных мощностей позволит составить четкое представление о реальных показателях экономии и о том, в какой степени они соответствуют проектным данным.

### **Мероприятия для эффективного энергоснабжения на предприятии**

#### **1. Установки компенсации реактивной мощности (УКРМ)**

Одним из методов повышения энергоэффективности является снижение реактивной мощности (увеличение  $\cos \varphi$ ), поскольку она приводит к увеличению потерь электроэнергии. В случае если на предприятии отсутствуют устройства компенсации реактивной мощности, потери могут достигать 10-50% от среднего энергопотребления.

При значениях  $\cos \varphi$  в пределах 0.3-0.5 трехфазные счетчики допускают погрешность в показаниях до 15%. Следовательно, из-за ошибочных данных потребитель вынужден платить



больше, поскольку у него увеличивается энергопотребление и на него может быть наложен штраф за низкий  $\cos \varphi$ . Чтобы избежать штрафных санкций, желательно иметь  $\cos \varphi$  немногим выше 0.9.

Реактивная мощность становится причиной снижения качества электроэнергии и тепловых потерь, способствует перекосу фаз, провоцирует возникновение высокочастотных помех в электрической сети, приводит к перегрузкам генераторного оборудования (ГО), броскам по частоте и амплитуде.

Установку индивидуальной коррекции можно назвать грамотным решением только в том случае, если в сети большая часть реактивной мощности вырабатывается несколькими мощными энергогенерирующими объектами, которые используются большую часть рабочего дня, смены или производственного цикла.

Централизованная коррекция коэффициента мощности, как правило, используется в тех случаях, когда предприятие использует большое количество устройств с разными нагрузками, которые не работают в постоянном режиме, а включаются только периодически. Следовательно, мощность УКРМ гораздо ниже общей мощности, которую необходимо обеспечить в случае применения индивидуальной коррекции. Когда уровень реактивной мощности сильно варьируется во время работы установки, применяется автоматическое регулирование в несколько ступеней.

Специалисты провели ряд измерений для того, чтобы выяснить, какой вклад в объем реактивной мощности вносят те или иные устройства. Им удалось выяснить, что:

- асинхронные электродвигатели – 40%;
- трансформаторные установки – 35%;
- преобразователи – 10%;
- электрические печи – 8%;
- ЛЭП – 7%.

Однако следует признать, что здесь приведены лишь средние значения, поскольку  $\cos \varphi$  электрооборудования напрямую зависит от степени загрузки. В качестве примера рассмотрим первую позицию списка – асинхронные электродвигатели. Так,  $\cos \varphi$  этой установки при полной загрузке составляет 0.7-0.8, при малой нагрузке показатель реактивной мощности сокращается в два раза и составляет 0.2-0.4.

Приведенные реактивные нагрузки имеют индуктивный характер, поэтому для их компенсации используют конденсаторные установки. В случае, когда нагрузка носит емкостный характер, для компенсации могут быть использованы дроссели и реакторы.



По степени управляемости УКРМ делятся на два вида. Они могут быть:

Регулируемые. Они способны отслеживать изменение в сети в динамическом режиме, который компенсирует быстро изменяющиеся нагрузки. Такие установки позволяют поднять  $\cos \phi$  до отметки 0.97-0.98. Помимо этого происходит отслеживание и фиксация текущих показателей. В дальнейшем эти данные могут быть использованы для проведения глубокого анализа.

Нерегулируемые. УКРМ этого вида проще по конструкции и дешевле по стоимости. Но, с учетом изменения  $\cos \phi$  от степени нагрузки, могут вызвать перекомпенсацию.

## **2. Частотно-регулируемые электроприводы**

Сегодня на многих российских промышленных предприятиях эксплуатируются мощные поршневые компрессоры, которые предназначены для сжатия и подачи воздуха под высоким давлением. Как правило, их производительность колеблется в пределах от нескольких десятков до сотен кубических метров в минуту.

Однако эксперты отмечают одну закономерность: эксплуатация изношенного компрессорного парка приводит к тому, что вместо подсчета прибыли руководство предприятий вынуждено изучать отчеты о колоссальных потерях электроэнергии.

Таким образом, список непроизводственных затрат, в который входят утечки в трубопроводах и расходы, обусловленные физическим и моральным износом оборудования, пополняется суммами затрат на ремонт поршневых компрессоров. Помимо этого предприятия вынуждены содержать штат обслуживающего персонала и обеспечивать подачу воды для охлаждения поршневых компрессоров.

Сумма этих расходов оказывает непосредственное влияние на себестоимость готовой продукции. В то время как сам метод централизованного обеспечения сжатым воздухом во всем мире уже давно переведен в разряд «дедовских».

Решением этой проблемы стала повсеместная интеграция в технологические циклы винтовых компрессоров. С их появлением на рынке электротехники наметился переход к децентрализованной системе подачи сжатого воздуха. Практически бесшумные установки компактного размера, которые к тому же отличаются простотой монтажа и не требуют больших материальных затрат на монтаж, в короткие сроки потеснили поршневые компрессоры в диапазоне производительности до 100 м<sup>3</sup> в минуту.

По оценкам аналитиков, ежегодный экономический эффект от перехода на децентрализованную систему исчисляется сотнями тысяч рублей при окупаемости проекта переоснастки компрессорного парка за два-три года. При этом специалисты уверены, что замена единой заводской пневмосистемы на локальную внутрицеховую уже позволяет сэкономить значительные суммы.



Очередной ступенью на пути развития энергоэффективности на промышленном предприятии стало изобретение винтовых компрессоров с частотно-регулируемым приводом (ЧРП). Конструкция современной модели состоит из двух компонентов:

Асинхронный электродвигатель. Функция этого механизма заключается в преобразовании электрической энергии в механическую и приведение винтовой пары в движение;

Частотный преобразователь устанавливает скорость вращения вала двигателя и преобразует переменный ток одной частоты в переменный ток другой частоты.

Сегодня ЧРП используются в различных отраслях промышленности. Например, установка такого электропривода в насосы подкачки систем теплоснабжения позволяет сэкономить 20-30% электрической энергии. То же самое можно сказать и о применении частотного привода в компрессоростроении, где разработчикам также удалось достичь впечатляющих результатов и тем самым повысить энергоэффективность предприятия.

самым весомым вкладом частотно-регулируемого привода в рациональное использование энергоресурсов является идеальное соответствие производительности компрессорной установки реальным потребностям предприятия в сжатом воздухе.

Это позволяет не просто минимизировать, а полностью исключить работу агрегата на холостых оборотах и тем самым предотвратить неэффективное энергопотребление. Чего нельзя сказать об асинхронном двигателе винтового компрессора, который может работать вхолостую и потреблять электричество, но при этом не генерировать сжатый воздух.

На этом список преимуществ применения ЧРП на промышленном предприятии не ограничивается. Еще одним перспективным направлением использования частотного привода при работе с компрессорными установками является объединение этих агрегатов с винтовым компрессором. Такие проекты уже реализованы на практике. Они продемонстрировали значительную экономию электричества и полностью оправдали ожидания разработчиков.

Однако следует отметить, что компрессор с ЧРП поможет вывести энергоэффективность производственной компании на качественно новый уровень только после того, как будет приведена в надлежащее состояние и полностью оптимизирована пневмосистема предприятия. Только в таком случае можно рассчитывать на видимый экономический эффект.

### **3. Установка энергоэффективной системы освещения**

В компании проанализировали ряд уже реализованных проектов и пришли к выводу, что после завершения модернизации систем освещения уровень энергопотребления был снижен не менее чем на 65%. При этом речь идет о тех предприятиях, где до этого эксплуатировались не очень старые осветительные приборы – не ртутные лампы, а натриевые и металлогалогенные. В то время как замена ртутных ламп позволяет достичь эффекта в 90%.



#### **4. Установка систем контроля и мониторинга потребления электроэнергии**

Переход к рыночной экономике и активное развитие российской промышленности ознаменовались необходимостью повышения эффективности управления потреблением энергоресурсов. Постепенно это стало задачей первостепенной важности как для поставщиков, так и для потребителей электроэнергии.

Одним из ключевых элементов решения стал объективный контроль и учет использования электричества и принятие эффективных мер по предупреждению их нерационального или несанкционированного отбора. Развитие этого направления призвано обеспечивать значительную часть общего энергосбережения, обладающего колоссальным потенциалом.

Неотъемлемым компонентом рынка электроэнергии является инструментальное обеспечение. По сути это комплекс систем, приборов, устройств, каналов связи, алгоритмов и др. инструментов, с помощью которых обеспечивается мониторинг, отслеживание и управление параметрами энергосбережения.

Основой для формирования и дальнейшего совершенствования инструментального обеспечения стали системы контроля и учета потребления электроэнергии:

АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электроэнергии для предприятий. Она интересна тем компаниям, которые хотят полностью контролировать процесс энергопотребления и оперативно получать актуальную информацию в режиме «здесь и сейчас».

Система обеспечивает коммерческий и технический учет, оперативный контроль текущей нагрузки и потребления энергоносителей. Помимо этого собранная информация помогает принимать правильные, взвешенные решения при планировании энергопотребления и разработке программы энергосбережения.

АССД – автоматизированная система разработана для дистанционного съема данных с разных приборов учета, передачи и хранения информации об энергопотреблении на сервере компании, а также для последующего анализа собранных данных и выявления внештатных ситуаций.

Система создана на базе современных технологий беспроводной передачи данных посредством радиоканала и GSM сетей. Абонентский блок в автоматическом режиме опрашивает счетчик по изначально запрограммированному графику и фиксирует показания в энергонезависимой памяти. Ее объема достаточно для хранения информации за последние 12 месяцев, поэтому в случае утраты данные подлежат восстановлению.

АСТУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электрической энергии. Предназначена для эксплуатации на территории промышленного предприятия. Создается по техническому заданию (ТЗ) заказчика. Как правило, к АСТУЭ



подключено множество приборов учета. Нередко они установлены на местах, территориально удаленных друг от друга.

Основными функциями автоматизированной системы являются:

Учет электрической энергии, которая расходуется на разные нужды (в разрезе по производственным площадкам, участкам, цехам, структурным подразделениям и т. д.).

Обеспечение сбора и анализа данных, которые используются в планировании энергопотребления.

Резервирование данных коммерческого учета электроэнергии.

Выявление случаев нерационального расходования энергоресурсов.

Снижение потерь электроэнергии, которого удастся достичь благодаря анализу учетных данных.

Хранение информации на центральном сервере и обеспечение санкционированного доступа в систему.

Обеспечение данных об объемах энергопотребления, которые в дальнейшем могут быть использованы для проведения анализа и определения финансовых результатов деятельности компании.

На этапе проектирования АСТУЭ необходимо уделить дополнительное внимание процессу прокладки кабельных систем (линий коммуникации) между отдельными объектами в условиях действующего производства. В некоторых случаях может потребоваться модернизация существующих КЛ и сооружений – кабельных каналов, лотков и эстакад.

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии. Она является обязательным условием электроснабжения производственного предприятия через энергосбытовую компанию с оптового рынка электроэнергии.

Основная задача системы заключается в оптимизации временных и трудовых затрат на сбор данных о результатах измерения. Суть оптимизации заключается в возможности дистанционного сбора информации с последующей обработкой на центральном сервере компании.

Помимо этого функционал информационно-измерительной системы позволяет:

Отслеживать техническое состояние аппаратных элементов системы. Эта информация помогает составлять план оперативных мероприятий с учетом текущего состояния электрооборудования и прогнозов о возможных отказах и аварийных ситуациях в будущем.

Обеспечивать контроль мгновенных характеристик сети (напряжения тока, мощности, частоты), а также составлять баланс отпускаемой и потребляемой электроэнергии и таким образом отслеживать объем технических и коммерческих потерь электроэнергии.



Управлять нагрузкой объекта автоматизации, в т. ч. ограничивать энергопотребление с учетом степени загрузки электросети, фиксировать объем потребляемых энергоресурсов и дистанционно прекращать подачу электроэнергии.

### **Заключение**

Особое внимание следует уделять управлению потреблением электроэнергии. В этом направлении вся возрастающая роль принадлежит использованию так называемых «умных», активно-адаптивных сетей.

На каждом промышленном предприятии должен осуществляться индивидуальный подход к имеющимся методам решения данной проблемы с квалифицированной оценкой объёмов затрат, сбережения и срока окупаемости их внедрения.

Для высокой конкурентоспособности промышленного производства следует рационально эксплуатировать его системы энергоснабжения и своевременно проводить комплексную оценку их эффективности.

### **Список литературы:**

1. Железко Ю. С., Артербев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2003 – С. 20–29.
2. Яруллина Г. Р. Управление энергосбережением на промышленном предприятии. – Казань: Изд-во КГФЭИ, 2009 – 111 с.
3. Золотых С. Ф., Рожков С. В., Лобанова С. В. Оценка методов повышения энергоэффективности электроснабжения предприятий // Известия ТулГУ, 2013 – № 12–1. – С. 135–141.
4. Ефременко В. М., Беляевский Р. В. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий // Вестник КузГТУ. 2011 – № 3 – С. 60–63.
5. Соснина Е. Н., Филатов Д. А. Применение возобновляемых источников энергии для повышения эффективности электроснабжения венных предприятий // Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. Нижний Новгород, 2015 154 с.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
7. Овчаренко Т. И., Васюченко П. В., Кириsov И. Г. Анализ существующих систем электроснабжения предприятий как фактор повышения их эффективности // Энергосбережение. Энергоаудит. 2012 – № 7 – С. 17–22.