

тели, они могут быть источниками искажения других. В связи с этим для улучшения качества электроэнергии и обеспечения оптимальных параметров показателей ее качества необходимо применять такие устройства не только в их исходном виде, но и с дополнительными надстройками, что позволит нивелировать как собственное негативное влияние, так и влияние тяги переменного тока, включая их в систему управления качеством электроэнергии.

1. Россети ФСК ЕЭС. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. – URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf.
2. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. Редакция 5.0. – URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691>.
3. Савина, Н.В. Качество электроэнергии: учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 182 с.
4. Закарюкин, В.П. Управление качеством электроэнергии в системах тягового электроснабжения на основе технологий интеллектуальных сетей / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, А.В. Черепанов // Известия Транссиба. – 2014. – № 3 (19). – С. 65-75.
5. СТО 56947007 - 29.240.019-2009. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России: стандарт организации. – М.: Изд-во ПАО «ФСК ЕЭС», 2009. – 34 с.
6. Довгун, В.П. Компенсационные характеристики гибридных фильтров гармоник / В.П. Довгун, С.А. Термбаев, Д.Э. Егоров, Е.С. Шевченко // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2012. – № 11-12. – С. 72-80.
7. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014 – 16 с.
8. Федоров, В.К. Влияние распределенной генерации на потери и качество электрической энергии / В.К. Федоров, Е.Н. Леонов, Д.В. Федоров // ОНВ. – 2016. – № 6 (150). – С. 72-76.
9. Савина, Н.В. Накопители электрической энергии как средство повышения надежности и экономичности функционирования электрической сети / Н.В. Савина, Л.Н. Лисогурская, И.А. Лисогурский // МНИЖ. – 2020. – №2-1 (92). – С. 63-70.

УДК 621.31

Савина Наталья Викторовна

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: nataly-savina@mail.ru

Savina Natalia Viktorovna

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

e-mail: nataly-savina@mail.ru

Мясоедов Юрий Викторович

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: myv@amursu.ru

Myasoedov Yuri Viktorovich

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

e-mail: myv@amursu.ru

Мясоедова Лариса Анатольевна

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: lo.myasoedova@gmail.com

Myasoedova Larisa Anatolievna
Amur State University,
Blagoveshchensk, Russia
e-mail: lo.myasoedova@gmail.com

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

ENSURING THE OPTIMUM LEVEL OF ELECTRICITY LOSSES IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF THE ENTERPRISES

Аннотация. Показано, что обеспечение оптимального уровня потерь электроэнергии в системах электроснабжения предприятий возможно лишь путем их адаптивного управления, предложена структура адаптивного управления уровнем потерь электроэнергии в реальном времени. Рассмотрена характеристика управляющих воздействий на примере мероприятий по снижению потерь электроэнергии, которые целесообразно осуществлять в первую очередь. Рассмотрено управление электропотреблением как часть управления уровнем потерь.

Abstract. On the basis of the system approach, the analysis of the basic technologies of the intelligent electric power system that provide adaptive management of the electric network is carried out. The expediency of their application for adaptive power quality management in electric networks with traction load by expanding the functions is shown. The variants of their configuration are proposed to improve the quality of electricity and ensure optimal parameters of electricity quality indicators.

Ключевые слова: адаптивное управление, система электроснабжения, потери электроэнергии, мониторинг, управляющее воздействие.

Key words: adaptive control, power supply system, power loss, monitoring, control action.

DOI: 10.22250/jasu.93.13

Введение

Важнейшим количественным показателем технического состояния систем электроснабжения и уровня их эксплуатации является величина потерь электроэнергии и тенденции ее изменения. Как показал отечественный и зарубежный опыт, существует зависимость величины фактических потерь электроэнергии от структуры системы электроснабжения предприятия, его установленной мощности и реализуемого технологического процесса, а также рыночных взаимоотношений между покупателем и продавцом электроэнергии. Величина потерь напрямую влияет на прибыль и финансовое благополучие предприятия.

Актуальность проблемы потерь электроэнергии отмечена в [1]. В частности, запланировано снижение потерь электрической энергии в электрических сетях до 9,8% (2024 г.) и до 7,3% (2035 г.). Это обусловлено тем, что в России относительные потери электроэнергии в 2-2,5 раза превышают уровень потерь в промышленно развитых странах (в странах ЕС они составляют 4-10%, в США – 9%, в Японии – 5-6%). При этом в системах электроснабжения предприятий наблюдается большая скорость прироста потерь по сравнению с ростом электропотребления. Соотношение составляющих потерь электроэнергии и их динамика различаются по предприятиям.

В связи с развитием рыночных отношений в стране значимость проблемы экономии электроэнергии в электрических сетях предприятий существенно возросла. Общеизвестно, что цена электроэнергии входит в себестоимость выпускаемой продукции, следовательно, снижение потерь электроэнергии может способствовать повышению конкурентоспособности предприятия.

Постановка задачи

Очевидно, что решение проблемы потерь электроэнергии, направленное только на снижение технических потерь, не даст значимых результатов. Традиционные подходы к разработке мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системах электроснабжения предприятий оказываются неэффективными, и целесообразность таких мер в значительной степени теряется. Необходимо применять комплексный подход к снижению потерь электроэнергии, а это возможно лишь при управлении их уровнем в реальном времени.

Такое снижение потерь – часть общей задачи повышения экономичности работы предприятия. Однако не всякое снижение потерь в сети повышает экономичность системы электроснабжения предприятия в целом. Поэтому целесообразность каждого мероприятия необходимо проверять технико-экономическими расчетами [2].

Под управлением уровнем потерь электроэнергии в системах электроснабжения предприятий понимается обеспечение их минимального значения путем реализации оптимальной совокупности методов и способов, технологий и технических средств на разных пространственно-временных иерархиях на основе выявленных закономерностей их изменения и прогнозирования. Пространственные иерархии определяются ступенями системы электроснабжения. Временные иерархии подразумевают ретроспективный анализ потерь, их текущее состояние, прогнозирование потерь.

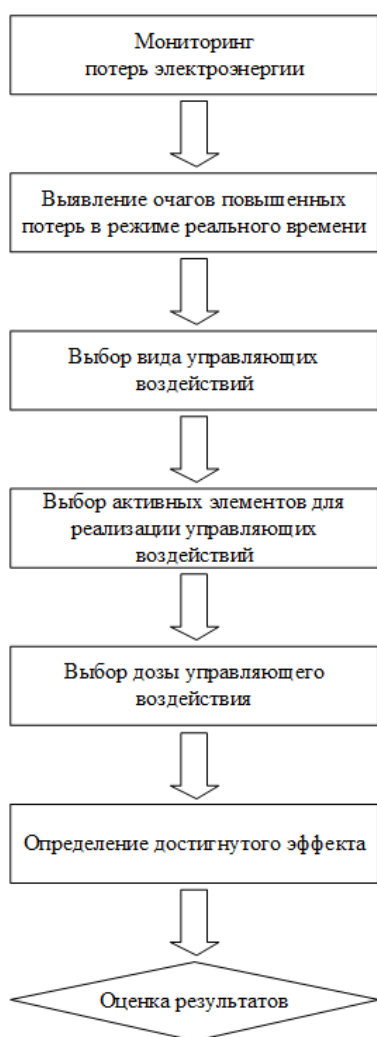


Рис. 1. Структурная схема адаптивного управления уровнем потерь электроэнергии в системах электроснабжения предприятий.

вают ретроспективный анализ потерь, их текущее состояние, прогнозирование потерь.

Адаптивное управление уровнем потерь электроэнергии

Для обеспечения оптимального уровня потерь электроэнергии в системах электроснабжения предприятий в режиме реального времени необходимо управлять их уровнем, исходя из схемно-режимной ситуации и технологического процесса.

Предлагается структура адаптивного управления уровнем потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий, показанная на рис. 1.

Мониторинг потерь электроэнергии полагает их непрерывный контроль. Отсюда следует необходимость автоматизированного расчета и анализа потерь и их составляющих в целом по предприятию, по каждой структурной единице.

Структурные единицы классифицируются по двум признакам – технологическому и электрическому. Классификация структурных единиц приведена в таблице.

Для мониторинга потерь целесообразно использовать детальную структуру потерь электроэнергии – представление фактических потерь в виде составляющих, объединенных общим признаком: одинаковым номинальным напряжением, типом оборудования, характером изменения во времени, обусловленности [3]. Автоматизированный расчет составляющих потерь в каждой структурной единице позволяет осуществлять структурный анализ потерь в реальном времени с целью: оценки приемлемости уровня потерь с экономической точки зрения; выявления причин превышения допустимых небалансов электроэнергии в структурных единицах и на границе раздела собственности; выявления очагов повышенных потерь – территориальных и технологических зон, групп элементов и отдельных элементов с повышенными потерями.

ми; определения количественного влияния на отчетные потери и их структурные составляющие параметров, характеризующих режимы системы электроснабжения; определения количественного влияния на потери конфигурации и параметров схемы системы электроснабжения.

Классификация структурных единиц

Технологический признак	Электрический признак
Система электроснабжения цеха	Система электроснабжения на каждом уровне напряжения
Система электроснабжения объектов общего назначения (насосные, компрессорные и т.п.)	Система электроснабжения на каждой ступени электроснабжения
Система электроснабжения отделения	Подстанция
Система электроснабжения технологической линии	Секция шин
Система электроснабжения технологической установки	Электроустановка

Сам же структурный анализ потерь проводится по методике, предложенной в [3], и включает исследование потерь электроэнергии в динамике: по структурным единицам; по видам составляющих потерь электроэнергии; по типам потребителей электроэнергии и их процентному содержанию в электропотреблении предприятия; по видам оборудования; по загрузке элементов сети; по зависимости от пропуска электроэнергии через элемент, участок системы электроснабжения (отдельно для каждого вида потерь); по качеству информационных потоков; по временным интервалам.

Далее осуществляется сопоставление динамики плотности распределения коэффициентов загрузки силовых трансформаторов и плотности распределения потерь электроэнергии в них; сопоставление динамики плотности распределения потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения и в системе электроснабжения в целом и пропуска через них электрической энергии, в технологических структурных единицах; сопоставление динамики плотности распределения условно-постоянных потерь и уровней напряжения в системе электроснабжения; сопоставление динамики технических и метрологических потерь, в том числе отдельно нагрузочных и условно-постоянных.

Обязательным компонентом мониторинга потерь электроэнергии является определение балансов электроэнергии в каждой структурной единице, а также мониторинг изменения состояния коммутационных элементов системы электроснабжения и, следовательно, топологии схемы электроснабжения.

Последовательность организации мониторинга потерь электроэнергии приведена на рис. 2. Такой подход позволяет выявлять очаги повышенных потерь адаптивно меняющейся схемно-режимной ситуации системы электроснабжения и технологического процесса.

Далее осуществляется сопоставление выявленных очагов повышенных потерь с оптимальным уровнем потерь и выбор вида управляющих воздействий.

Управляющие воздействия включают мероприятия, методы или способы снижения потерь, технологии и технические средства. Они могут быть различными по длительности, плановыми и оперативными, осуществляться с различной степенью автоматизации или без нее.

Для каждого вида управляющих воздействий формируется банк активных элементов, т.е. элементов, автоматически воздействующих на параметры схемы или режима либо технологический процесс с целью снизить потери электроэнергии. Эти элементы сопоставляются с причинами повышенных потерь в выявленных на этапе мониторинга очагах. На основе оптимизационных расчетов выбирается активный элемент, обеспечивающий большее снижение потерь с меньшими затратами, и определяется доза управляющего воздействия. Производится расчет ожидаемого эффекта от ввода управляющего воздействия, после его реализации осуществляется мониторинг потерь электроэнергии. Далее процесс повторяется.



Рис. 2. Организация мониторинга потерь электроэнергии.

Характеристика мероприятий по снижению потерь электроэнергии

Рассмотрим характеристику управляющих воздействий на примере мероприятий по снижению потерь электроэнергии, которые целесообразно осуществлять в первую очередь. Их традиционно разделяют на организационные и технические.

К организационным относятся мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания системы электроснабжения (сокращение продолжительности технического обслуживания, ремонта основного электрооборудования и сетей, снижение расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций и ТЭЦ), оптимизация нормальной схемы электроснабжения, режимов работы схем электроснабжения технологических структурных единиц, распределения нагрузки между пунктами приема электроэнергии, повышение рабочего уровня напряжения в сети за счет регулирования напряжения на генераторах ТЭЦ и силовых трансформаторах ГПП (ПГВ), а также регулирование напряжения в узлах нагрузки, сокращение периодов холостого хода и простоя оборудования за счет совершенствования технологического процесса производства, оптимальная загрузка электродвигателей, оптимизация установившихся режимов системы электроснабжения по реактивной мощности, выявление активных элементов, в качестве которых могут выступать потребители-регуляторы, выравнивание графиков электрических нагрузок.

К техническим мероприятиям относятся: перевод системы электроснабжения или ее структурной единицы или двигателей на более высокую ступень напряжения, замена сечений проводников на большие или на проводники нового поколения, замена трансформаторов, установка дополнительных регулирующих и компенсирующих устройств, – например, установка и ввод в работу устройств автоматического регулирования коэффициента трансформации на трансформаторах с РПН, гибкая реконфигурация системы электроснабжения путем ввода автоматических переключателей, реконструкция и модернизация системы электроснабжения предприятия с целью повышения ее гибкости и управляемости.

Наибольший эффект от снижения потерь электроэнергии на первом этапе обеспечат оптимальная компенсация реактивной мощности, автоматическое регулирование напряжения, замена электрических сетей на перегруженных участках, замена силовых трансформаторов ТП. Увеличение уровня компенсации реактивной мощности по ориентировочным расчетам позволит на 15-20% сни-

зять потери в системах электроснабжения, а также установленную мощность силовых трансформаторов ТП. Срок окупаемости устройств компенсации реактивной мощности составляет 2-3 года. Замена трансформаторов с целью снижения потерь окупается в срок до 1 года [4].

Управление электропотреблением

Снижение потерь электроэнергии достигается за счет снижения максимумов активной и реактивной мощностей предприятий, а также выравнивания графиков электрической нагрузки. Эти мероприятия относятся к организации и регулированию электропотребления и должны разрабатываться службой главного энергетика совместно с технологическими службами.

Структурная схема взаимосвязей и последовательности разработки мероприятий по управлению электропотреблением предприятия приведена на рис. 3.

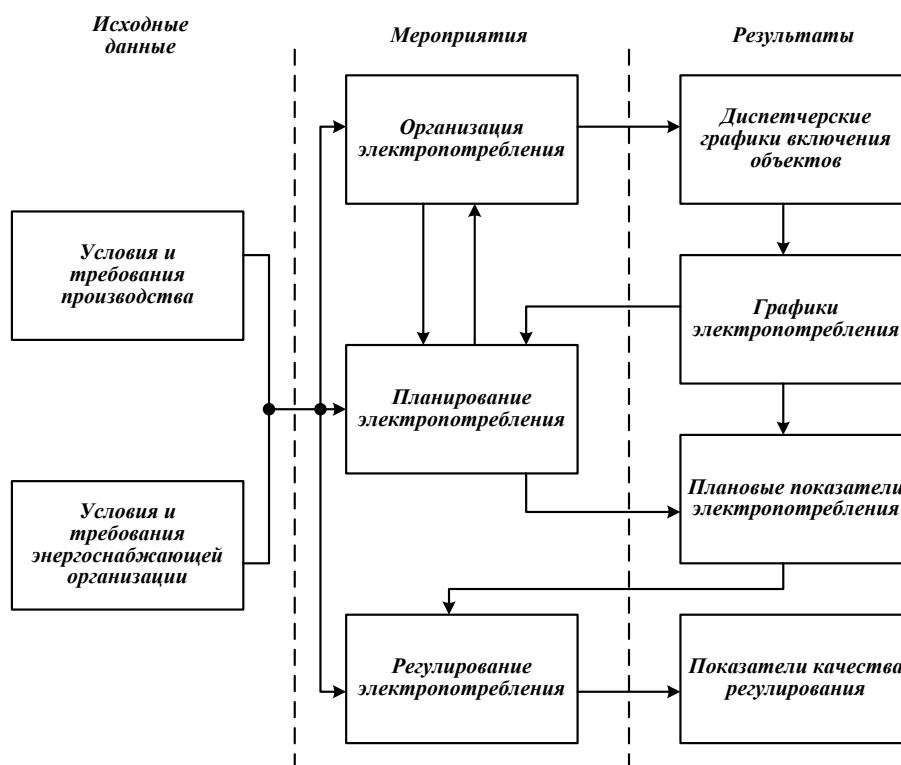


Рис. 3. Структурная схема взаимосвязей и последовательность разработки мероприятий по управлению электропотреблением.

Организационно-техническая подготовка, связанная с изменениями графика работы электроприемников, которые без ущерба можно перевести на работу вне часов максимума энергосистемы, включает следующие мероприятия:

1. Увеличение производительности агрегатов и заделов производства. Нужно изучить режим работы агрегатов и цехов, выявить объемы складов и наличие эксплуатационных заделов производства на различных участках, найти критический участок, который определяет предельно допустимый объем выпускаемой продукции при максимальной производительности агрегатов, устойчиво достигнутый в условиях эксплуатации. Для увеличения заделов производства можно использовать, например, заготовительные участки, мельницы, компрессорные установки, печи спекания. Применительно к суточным графикам электрической нагрузки в фазах производства с большей производительностью – задать прерывные режимы работы части агрегатов, при которых образуются заделы производства. Время простоя этих регулируемых агрегатов определяется объемом промежуточного продукта, обеспечивающим максимальную производительность агрегатов (участков, цехов) с меньшей производительностью.

2. Отключение вспомогательного оборудования и профилактика технического оборудования в максимум нагрузки. Следует перенести время зарядки аккумуляторных батарей с часов максимума электрической нагрузки, отключать трансформаторные механизмы в максимум нагрузки энергосистемы, осуществлять в эти часы ежедневную профилактику цехового оборудования.

3. Изменение режима работы энергоемких агрегатов в течение суток для перераспределения мощности электроприемников между сменами так, чтобы уменьшить мощность в вечерней смене. Для этого используется резерв производительности перекачивающих насосов, насосов по откачке воды, очистных насосов, компрессоров, вентиляторов вне часов максимума нагрузки энергосистемы (т.е. включаются резервные агрегаты, необходимые для обеспечения надежности работы), тем самым снижая в эти часы мощность предприятия.

4. Поочередная загрузка и остановка однотипных агрегатов в режиме максимума нагрузки. Следует осуществлять работу конвейеров, печей спекания дуговых сталеплавильных печей, мельниц в поочередном режиме, что приведет к снижению мощности предприятия, к выравниванию графиков нагрузки и снижению потерь.

5. Капитальные и средние ремонты основного оборудования следует проводить в зимний период.

6. Выявление потребителей-регуляторов. Проводится контрольное обследование наиболее энергоемких установок основных технологических процессов. Его результаты содержат следующие данные: режим работы предприятия; характеристики системы учета и контроля электропотребления; заявленные и фактические значения получасовых максимальных мощностей в часы максимума нагрузки энергосистемы; характерные суточные графики электрических нагрузок предприятия; графики активной мощности, снятые в часы максимума нагрузки энергосистемы в режимные дни через каждые 10 минут.

Полученная информация даст возможность выявить электроприемники, формирующие максимумы в графике нагрузки предприятия и организовать режим их совместной работы таким образом, чтобы исключить совпадение во времени максимумов электропотребления нескольких электроприемников в часы максимума нагрузок энергосистемы.

Составляется график очередности работы потребителей-регуляторов.

7. Диспетчерское регулирование максимума нагрузки.

Выбор способа управления, определение величины и момента регулирующего воздействия осуществляются энергодиспетчером на основе знания технологического процесса, предлагаемое решение согласовывается с технологическим диспетчером.

8. Технологические службы должны выявить возможности установки оборудования с более интенсивным режимом работы, сооружения дополнительных складов, площадей для хранения запасов и заделов промежуточного продукта, установки дополнительных мощностей, оборудования с улучшенными энергетическими характеристиками. В первую очередь решается вопрос о замене двигателей на двигатели более высокого номинального напряжения, если это возможно по условиям технологического процесса.

Заключение

1. Предложена структура адаптивного управления уровнем потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий.

2. Выявлены первоочередные организационные и технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии и приведена их характеристика.

3. Предложена программа управления электропотреблением предприятия, учитывающая технологические и электрические взаимосвязи.

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/>

2. Кожевников, Н.Н. Практические рекомендации по использованию методов оценки экономической эффективности инвестиций в энергосбережение / Н. Н. Кожевников, Н. С. Чинакаева, Е. В. Чернова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 132 с.

3. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: монография. – Новосибирск : Наука, 2008. – 228 с.

4. Грачева, Е.И., Горлов, А.Н., Шакурова, З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутривозовского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 65-74.

УДК 696.6

Артюшевская Екатерина Юрьевна

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: kateona2006@yandex.ru

Artyushevskaya Ekaterina Yurievna

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

e-mail: kateona2006@yandex.ru

Мясоедов Юрий Викторович

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: myv@amursu.ru

Myasoedov Yuri Viktorovich

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

e-mail: myv@amursu.ru

Мясоедова Лариса Анатольевна

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

e-mail: lo.myasoedova@gmail.com

Myasoedova Larisa Anatolievna

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

e-mail: lo.myasoedova@gmail.com

СПОСОБЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САНАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

METHODS OF ENERGY REHABILITATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN A COLD CLIMATE

Аннотация. Определены основные направления повышения энергетической эффективности жилых зданий в условиях холодного климата. Рассмотрены мероприятия по повышению энергоэффективности наружных ограждающих конструкций, а также по повышению эффективности технических решений и инженерных систем. Установлены наиболее перспективные методы энергетической санации.