

Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения металлургических предприятий в рыночных условиях

Н.В. Савина¹, Т.С. Козлова²

¹«Амурский государственный университет», Благовещенск, Российская Федерация

²Филиал ОАО «Дальневосточная энергетическая компания» «Амурэнергосбыт», Благовещенск, Российская Федерация

E-mail: Tan.ok@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В условиях рынка основными факторами, определяющими конкурентоспособность продукции, являются ее качество и цена. В связи с этим одной из самых сложных задач при производстве продукции металлургических предприятий является обеспечение качества.

Материалы и методы: При изучении системы управления производством металлургического предприятия применен метод системного анализа.

Результаты: Рассмотрены система управления качеством электроэнергии в системах электроснабжения металлургических предприятий в рыночных условиях, а также принципы, технология и основные процессы управления качеством электроэнергии. Дана характеристика этапов управления.

Выводы: Разработанная система управления качеством электроэнергии на металлургических предприятиях в условиях рыночной экономики позволяет повысить конкурентоспособность предприятий и качество производимой продукции.

Ключевые слова: качество электроэнергии, несинусоидальность, несимметрия, колебание, напряжение, ток, технология управления, процессный подход, рынок, металлургическое предприятие.

Control of Electric Power Quality in Electric Power Supply Systems of Metallurgical Enterprises in Market Conditions

N.V. Savina¹, T.S. Kozlova²

¹ Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation

² «Amurenergosbyt» Branch of «Far East Energy Company», Blagoveshchensk, Russian Federation

E-mail: Tan.ok@mail.ru

Abstract

Background: In market conditions the main factors which can define the production competitiveness remain quality and price. Hence, one of the most complex tasks during the production of the metallurgical enterprises is guaranteeing the quality.

Materials and methods: To research the control system of production of the metallurgical enterprise the method of the system analysis is applied.

Results: The control system of quality of the electric power in systems of power supply of the metallurgical enterprises in market conditions is given, as well as principles, technology and the main quality management processes of the electric power are developed.

Conclusions: The quality control system of the electric power at the metallurgical enterprises in the market conditions is developed. It allows to increase the competitiveness between enterprises as well as the quality of production.

Key words: Quality of the electric power, unsinusoidality, asymmetry, fluctuation, voltage, current, management technology, process approach, market, metallurgical enterprise.

В условиях рынка основными факторами, определяющими конкурентоспособность продукции, являются ее качество и цена. Обеспечение качества – одна из самых сложных задач, с которыми приходится сталкиваться при производстве продукции металлургическим предприятиям. В свою очередь, любое решение в области качества, в том числе и качества электрической энергии (КЭ), должно быть экономически обоснованным. Металлургические предприятия потребляют около 30 % вырабатываемой электроэнергии и относятся к наиболее энергоемкой отрасли промышленности, при этом они являются источниками низкого качества электроэнер-

гии. Это вызвано активным внедрением нелинейной, несимметричной и резкопеременной нагрузки, например сверхмощных дуговых электросталеплавильных печей (ДСП), мощных прокатных станов, электросварки, электронных выпрямительных устройств.

Дуговые сталеплавильные печи негативно влияют на качество электрической энергии питающей сети. Характер потребления активной и реактивной мощностей печными агрегатами соответствует их резкопеременным, повторно кратковременным режимам работы. Работа ДСП с нестабильным потреблением реактивной мощности сопровождается потреблени-

ем неактивной мощности и возникновением колебаний напряжения (эффект фликера) в электрической сети. Несинусоидальность и несимметричность фазных токов, потребляемых печью, приводит к искажению формы кривой и несимметрии напряжения, появлению медленно изменяющейся постоянной составляющей тока, что в свою очередь оказывает негативное влияние на сетевое оборудование, увеличивая потери и уменьшая срок службы.

Электросварочные установки представляют собой однофазную или трехфазную, работающую в несимметричном режиме, резкопеременную и несинусоидальную нагрузку с низким коэффициентом мощности.

Условия работы электроприводов прокатных станов характеризуются целым рядом специфических особенностей, таких как большое число включений, ударный характер нагрузки, особенно в момент захвата металла валками, большие динамические перегрузки, особенно при разгоне с металлом в валках, необходимость обеспечения высокой производительности стана и качества готовой продукции металлургических предприятий.

Основными причинами снижения качества электрической энергии являются несинусоидальность кривой напряжения, несимметрия трехфазной системы напряжений, колебания и отклонения напряжений¹. Эти свойства оказывают существенное воздействие на надежность и эффективность функционирования систем электропитания металлургических предприятий.

Низкое качество электроэнергии снижает достоверность учета электроэнергии, увеличивает потери в силовом оборудовании, сокращает срок службы изоляции и, соответственно, срок функционирования основного электротехнического оборудования металлургических предприятий, что в свою очередь приводит к снижению надежности.

Искажение КЭ в условиях рыночной экономики приводит к нарушению требуемых допусков производимой продукции, увеличению эксплуатационных издержек производства и себестоимости производимой продукции, снижению ее конкурентоспособности.

Рыночные отношения диктуют необходимость постоянного улучшения качества электроэнергии с использованием для этого всех возможностей, в том числе и технологий управления. Так как между качеством электроэнергии и эффективностью производства существует прямая зависимость, то для оперативного выявления основных источников искажений и ус-

ранения их негативного воздействия необходима система мониторинга и управления КЭ.

Таким образом, необходима разработка системы управления качеством электроэнергии на металлургических предприятиях, адаптированной к рыночным условиям функционирования электроэнергетики.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка принципов и технологии управления КЭ.

2. Разработка структуры управления КЭ.

3. Характеристика этапов управления КЭ.

Традиционно под технологией понимают совокупность производственных методов и процессов в определенной отрасли производства, а также научное описание способов производства. *Под технологией управления КЭ будем понимать контроль и улучшение качества электроэнергии, т. е. комплекс организационно-технических мер, обеспечивающих контроль и выбор оптимальных воздействий, направленных на улучшение КЭ, и основанных на системном подходе.* Поскольку все этапы процесса управления КЭ взаимосвязаны, неправильное функционирование одного из них (даже самого, казалось бы, незначительного) может негативно повлиять на функционирование системы в целом.

Для разработки технологии управления КЭ на металлургических предприятиях необходимо определить основные принципы управления КЭ:

- 1) жесткая иерархия функций управления;
- 2) наличие обратных связей;
- 3) гибкость управления.

Принцип жесткой иерархии функций управления заключается в том, что параметры каждого отдельного этапа процесса управления КЭ строго однозначным образом связаны с параметрами других этапов. Каждый из двух или более этапов выступает как управляющий по отношению ко всем нижележащим и как управляемый, подчиненный вышележащим этапам. Этот принцип жесткой иерархии позволяет в конечном итоге бесперебойно производить продукт с заранее определенными технологическими и экономическими характеристиками.

Принцип наличия обратных связей позволяет получать информацию о возможных или реальных отклонениях от намеченной цели и вовремя вносить изменения в процесс управления КЭ. Отсутствие обратной связи ведет к патологии, кризису и краху всей технологии управления КЭ, а следовательно, к убыткам металлургического предприятия.

Принцип гибкости управления заключается в применении адаптивного управления техническими средствами, улучшающими качество электроэнергии, и коррекции процесса управления КЭ в случае необходимости, увязывая его с меняющимися внутренними и внешними условиями.

¹ ГОСТ 13109–97 межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 1999-01-01.

Жесткая иерархия функций управления связана с гибкостью планирования процесса, наличием обратных связей и управляющих воздействий. Данная комбинация принципов управления позволяет исключить или минимизировать негативное влияние низкого КЭ на выпускаемую продукцию.

Сочетание системного подхода, основанного на идентификации и взаимодействии всех этапов процесса управления КЭ, с системой менеджмента процессов представляет собой процессный подход. Процессный подход рассматривает технологию управления КЭ как непрерывную серию взаимосвязанных управленческих функций. Процессный подход в технологии управления КЭ – один из мощных инструментов повышения эффективности процесса производства на металлургических предприятиях. Технология управления качеством электроэнергии, основанная на процессном подходе, позволяет анализировать возможные последствия сбоев на том или ином этапе выполнения работ, обеспечивающих требуемое качество электроэнергии, вовремя находить и исправлять ошибку. Еще одним достоинством данной технологии является управление операционными издержками, которое становится одним из основных условий выживания на рынке. Процессный подход позволяет определять и управлять ключевыми процессами и результатами деятельности системы управления КЭ, в результате чего можно достичь снижения уровня электропотребления и положительно влиять на добавленную стоимость предприятия в целом. Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности процесса управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных этапов управления КЭ в рамках системы электроснабжения и ее подсистем, а также при взаимодействии с электропитающей системой. Управление КЭ рассматривается как процесс, обеспечивающий не только соответствие требованиям ГОСТ 13109-97 на границе раздела балансовой принадлежности, но и оптимизацию показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в системе внутреннего электроснабжения предприятия, – это не какое-то единовременное воздействие, а серия непрерывных взаимосвязанных действий, каждое из которых само по себе является процессом. Для того чтобы КЭ соответствовало требованиям ГОСТ и поставленным целям, необходимо выделить основные этапы управления КЭ:

1) осуществление организационных и технических мер, направленных на контроль за соблюдением требуемых нормативными документами значений ПКЭ;

2) организация процесса анализа контролируемых параметров в целях выявления возможных источников и степени искажения КЭ в зависимости от режима работы технологических установок и питающей электроэнергетической системы;

3) проведение необходимых, экономически обоснованных организационных и технических мер, направленных на нейтрализацию или снижение вредного воздействия источников искажения КЭ на ответственные технологические узлы и агрегаты, а также питающую электроэнергетическую систему;

4) постоянный контроль инноваций в области КЭ в системах электроснабжения.

Определив принципы управления КЭ в системах электроснабжения металлургических предприятий, можно подойти к синтезу самой системы управления. Эта система связывает подсистемы, блоки и этапы, обособленные от надсистемы и взаимодействующие с ней как единое целое. При этом надсистемой является система электроснабжения металлургического предприятия, входящая в свою очередь в систему управления производством выпускаемой продукции, что логически обоснованно. В процессе своего функционирования металлургическое предприятие должно управлять многочисленными видами деятельности, в том числе и качеством электроэнергии, которые рассматриваются как взаимосвязанные и взаимодействующие процессы.

Основной целью функционирования системы управления КЭ является обеспечение минимального воздействия низкого качества электроэнергии на технологические и экономические характеристики всей выпускаемой продукции, а также на сети энергоснабжающей организации с минимальными затратами на улучшение КЭ. Эта система состоит из двух подсистем – технологии управления и менеджмента, т.е. имеет дуальный характер. Обе подсистемы основаны на процессном подходе², применяемом как к техническому блоку системы управления КЭ (технология управления), так и к экономическому (менеджмент).

Структурная схема системы управления КЭ в системах электроснабжения металлургических предприятий приведена на рис. 1.

Подсистема «Технология управления» включает блоки контроля и улучшения КЭ. Ее сущность заключается в способности контроля КЭ и его улучшения с минимальными затратами для производства продукции. Подсистема «Менеджмент КЭ» содержит блоки затрат на улучшение КЭ и оценки экономического эффекта от улучшения КЭ.

² ГОСТ Р ИСО 9000–2008 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Введ. 2009-11-13. – М.: Стандартинформ, 2009.

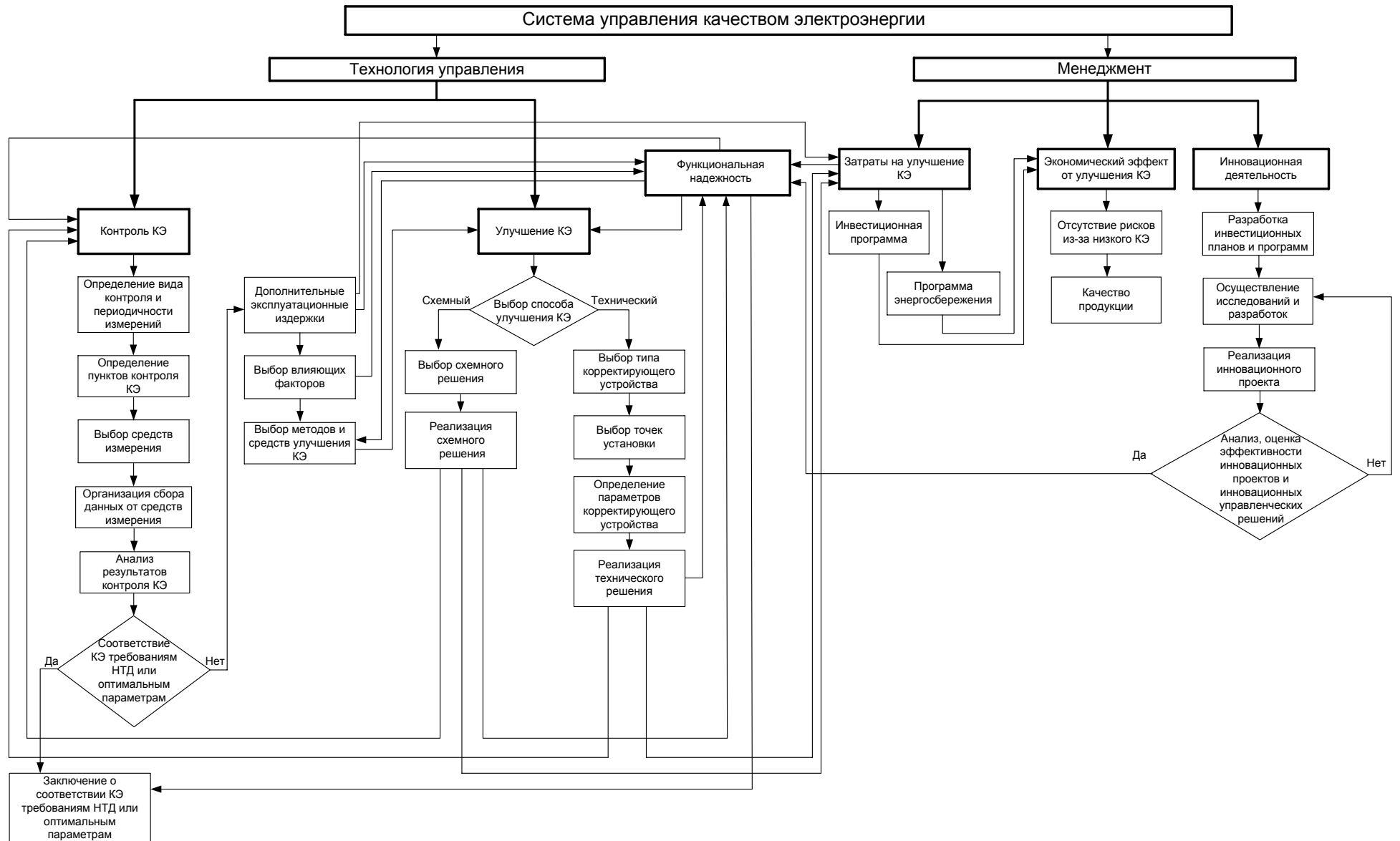


Рис. 1. Структурная схема системы управления КЭ на металлургических предприятиях

Подсистема менеджмента КЭ показывает, что повышение качества электроэнергии способствует повышению эффективности производства, приводя к снижению затрат и повышению качества продукции. Обе подсистемы связаны блоком функциональной надежности, который определяет надежность системы внутреннего электроснабжения после реализации процессов, соответственно, в подсистемах технологии управления и менеджмента.

Для обеспечения жесткой иерархии в системе управления КЭ имеются обратные связи, которые обеспечивают также гибкость управления, объединяя собой экономический и технический блоки с блоком функциональной надежности.

Блок контроля КЭ предназначен для выявления возможных источников и степени искажения КЭ в зависимости от сложившегося в текущий момент времени режима. Контроль качества электроэнергии необходим, так как при некачественной электроэнергии может быть нарушена технология производства продукции или произведена некачественная продукция. Своевременный контроль КЭ способен защитить от рисков экономических потерь. Поэтому современные металлургические предприятия должны сосредоточивать внимание не на выявлении брака, а на его предупреждении, на тщательном контроле за производственным процессом и осуществлять свою деятельность в соответствии с концепцией «регулирования качества».

Процесс контроля КЭ осуществляется в следующей последовательности: определение целей и задач, вида и периодичности реализации каждого вида контроля КЭ, контролируемых ПКЭ, пунктов и средств контроля, систем сбора данных и обработки результатов контроля. В соответствии с выделенными стадиями процесса формируется блок контроля КЭ. При этом средства измерения ПКЭ определяются в зависимости от выбранных для контроля показателей качества электроэнергии и пунктов контроля. Учитывая техническую возможность передачи данных от средств измерения, выбираются способы сбора информации. На основании собранной информации производится обработка и анализ результатов контроля КЭ. Если проведенный анализ подтверждает соответствие КЭ требованиям ГОСТ 13109-97 и нормативно-технической документации (НТД), то выдается заключение о соответствии КЭ требованиям НТД. Такой анализ производится постоянно, так как параметры режимов систем электроснабжения на металлургических предприятиях в основном являются нестационарными случайными процессами, прогнозировать которые с необходимой в современных условиях точностью трудно и трудоемко.

В случае несоответствия КЭ требованиям НТД определяются дополнительные эксплуа-

тационные издержки от низкого КЭ. Если они незначительны, то определяется, как изменяется функциональная надежность системы электроснабжения металлургического предприятия при таких ПКЭ. Заключение о соответствии КЭ оптимальным параметрам выдается в том случае, когда функциональная надежность системы соответствует требуемому уровню. Если показатели функциональной надежности системы электроснабжения ухудшаются, то производится выявление влияющих факторов с дальнейшим выбором методов и средств улучшения КЭ.

Для металлургических предприятий характерны следующие виды контроля: коммерческий и технологический контроль [1]. При этом контроль на соответствие КЭ требованиям ГОСТ 13109-97 входит в коммерческий контроль, а оценка соответствия ПКЭ оптимальным параметрам – в технологический контроль.

Коммерческий контроль осуществляется в точках коммерческого учета потребляемой электроэнергии и используется как средство экономического воздействия при поставляемой некачественной энергии Гарантирующим поставщиком (ГП) или при искажении КЭ металлургическим предприятием согласно договору энергоснабжения³.

Технологический контроль используется для выявления источника и степени искажения КЭ в текущий момент времени.

По длительности измерений ПКЭ различают постоянный и эпизодический контроль [2]. Для металлургических предприятий необходим постоянный контроль или мониторинг ПКЭ – вид контроля, при котором поступающая информация о контролируемых ПКЭ анализируется непрерывно. Этот контроль осуществляется с помощью стационарно установленных средств измерения.

Определение пунктов контроля КЭ зависит от вида контроля. При коммерческом контроле такими пунктами являются точки общего присоединения (ТОП), точки коммерческого учета потребляемой электроэнергии, т.е. точки поставки электроэнергии на розничном рынке. При технологическом контроле пунктом контроля является точка подключения нагрузки, искажающей КЭ, к системе электроснабжения. В качестве примера на рис. 2 показана структурная схема электроснабжения металлургического завода «Амурметалл» с указанием пунктов контроля КЭ.

³ ГОСТ Р 53333–2008. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2009-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009.

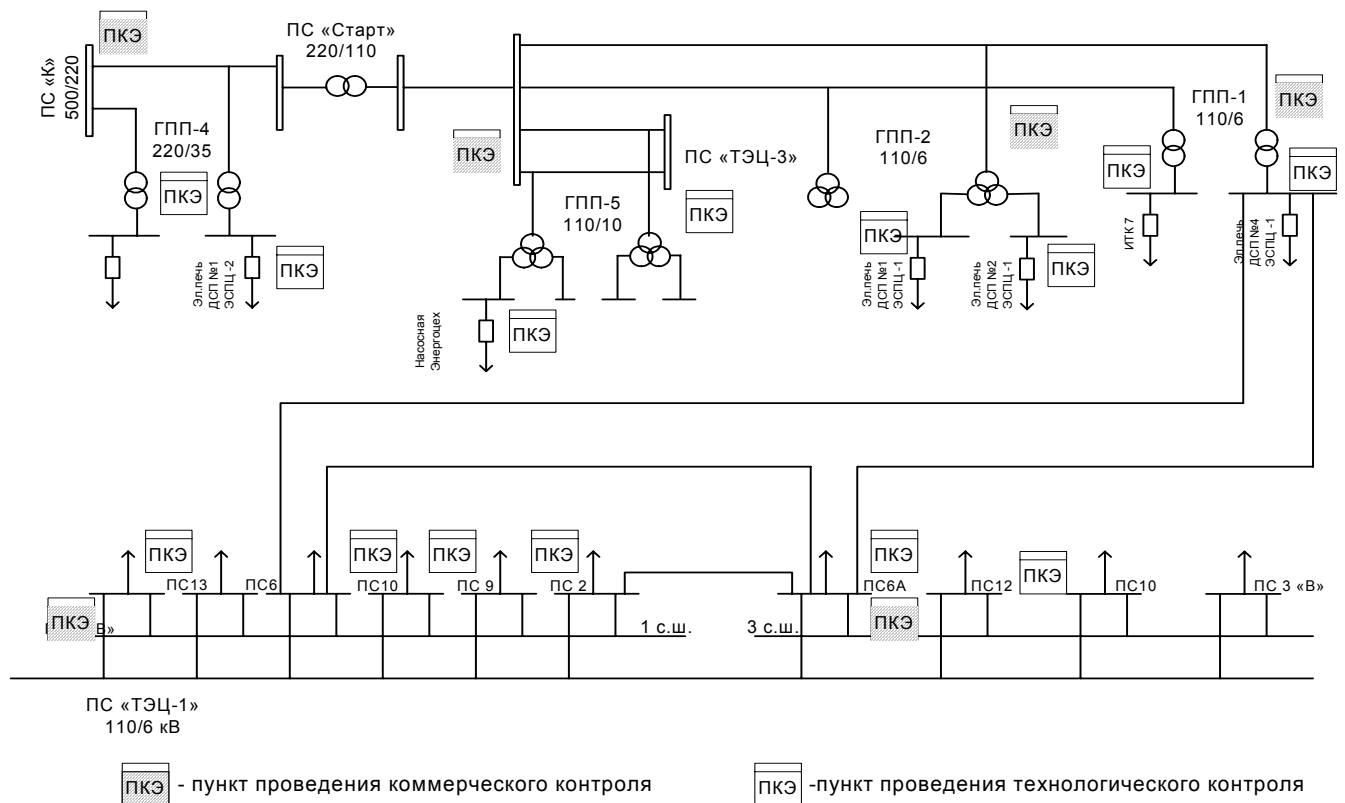


Рис. 2. Структурная схема электроснабжения металлургического завода «Амурметалл» с указанием пунктов контроля КЭ

Выбор средств измерения зависит от контролируемых ПКЭ, перечень которых определяется источниками искажения КЭ. На металлургических комбинатах при коммерческом контроле средства измерения должны контролировать весь перечень ПКЭ, нормируемый ГОСТ 13109-97. При технологическом контроле средства измерения должны контролировать ПКЭ, характеризующие отклонение напряжения, несинусоидальность и несимметрию токов и напряжений, колебание напряжения.

Все контролируемые значения ПКЭ должны быть переданы для их анализа в единую базу данных управляющего сервера. Можно использовать следующие способы передачи данных от средств измерения ПКЭ: выделенные телефонные каналы и специальные каналы для передачи цифровой информации, радиоканалы и каналы спутниковой связи, например системы ГЛОНАСС или GPS, волоконно-оптические линии связи, систему Internet.

По результатам контроля производится расчет дополнительных эксплуатационных издержек от низкого КЭ и осуществляется их анализ. К таким издержкам относятся, например, дополнительные расходы предприятия от недостоверности учета электроэнергии и мощности, от дополнительных потерь электроэнергии, создаваемых искажением КЭ, от сокращения срока службы оборудования, от дополнительных отказов электроустановок и ложных срабатываний релейной защиты. Затем выявляются

влияющие факторы, приводящие к увеличению эксплуатационных издержек. Производится оценка функциональной надежности системы электроснабжения металлургического предприятия при выявленном ухудшении КЭ и делается вывод о целесообразности выбора тех или иных методов или средств улучшения КЭ.

Блок улучшения КЭ предназначен для определения возможных путей и способов улучшения КЭ в целях избежания экономических потерь, обусловленных нарушением технологии производства продукции или ее низким качеством.

Вначале выбирается способ улучшения КЭ: схемный или технический. Возможна их композиция. Производится выбор схемного решения и определяются затраты на его реализацию. Затем определяется функциональная надежность системы и проводится повторный контроль КЭ.

При невозможности улучшения ПКЭ схемным путем рассматривается возможность реализации технического способа улучшения КЭ. Производится выбор типов и параметров корректирующих устройств, точек их установки, способов управления. Определяются затраты на повышение КЭ техническим путем и рассчитывается функциональная надежность системы электроснабжения, затем проводится повторный контроль КЭ.

Блок улучшения КЭ включает в себя два подблока: схемный и технический.

Характерные источники искажения качества электроэнергии на металлургических предприятиях вызывают такие явления, как несинусоидальность и несимметрию токов и напряжений, отклонения и колебания напряжения. Поэтому необходимо выбрать именно те схемные решения, которые позволят одновременно улучшить две или три характеристики качества электроэнергии. Схема процесса выбора схемных решений по обеспечению качества электроэнергии на металлургических предприятиях представлена на рис. 3.

Существующие технические средства для улучшения КЭ предназначены в основном для улучшения одного свойства, максимум двух, при этом они не учитывают взаимное влияние характеристик качества электроэнергии. В то же время для металлургических предприятий актуальны многофункциональные устройства модульного типа (МФУ), обеспечивающие оптимальное снижение одновременно несинусоидальности кривой напряжения, несимметрии трехфазной системы напряжений, отклонений и колебаний напряжений в адаптивном режиме. Схема процесса выбора такого многофункционального корректора качества электрической энергии, основанного на серийно выпускаемых устройствах, направленных на улучшение одного свойства качества электроэнергии, и обеспечивающего комплексное решение проблемы качества электроэнергии на металлургических предприятиях, показана на рис. 4.

Для определения параметров многофункционального устройства, улучшающего качество электроэнергии, необходимо произвести расчет

баланса реактивных мощностей, а также расчет или контроль ПКЭ. На основании полученных данных в работу вступает устройство, которое позволит привести в соответствие оптимальным значениям ПКЭ расчетные или измеренные значения ПКЭ. Это устройство должно состоять из трех модулей (а при необходимости дополнительной мощности компенсирующих устройств – из четырех модулей), каждый из которых будет отвечать за конкретный вид искажения.

Первый модуль предназначен для снижения колебаний и отклонений напряжения и строится по принципу статического компенсирующего устройства косвенного типа (СКУ). Второй модуль представляет собой ненастроенный фильтр (НФ), параметры которого выбираются на основе результатов выбора параметров первого модуля. Третий модуль служит для снижения несимметрии токов и напряжений и реализует собой симметрирующее устройство (СУ). Его параметры выбираются исходя из результатов выбора параметров в двух предыдущих блоках. В случае необходимости добавляется модуль, отвечающий за оптимальную компенсацию реактивной мощности.

Для того чтобы экономически обосновать процесс улучшения качества электрической энергии, система управления КЭ включает в себя подсистему менеджмента.

Менеджмент управления КЭ состоит из трех основных блоков: анализ финансовых затрат на повышение КЭ, определение экономического эффекта от улучшения КЭ и контроль инновационной деятельности.

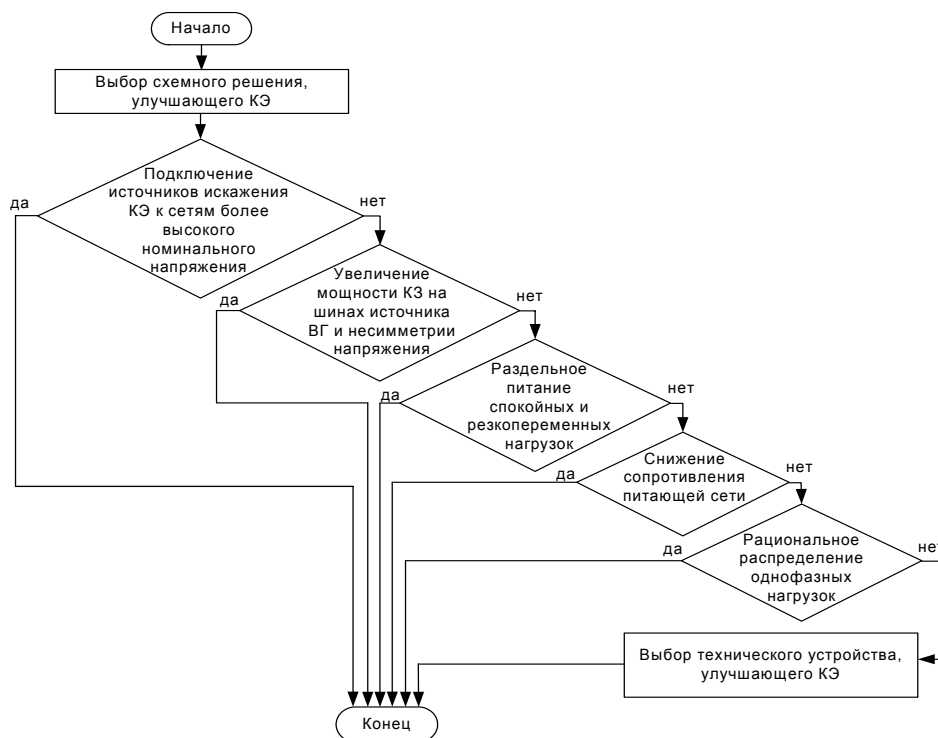


Рис. 3. Процесс выбора схемных решений по обеспечению качества электроэнергии на металлургических предприятиях

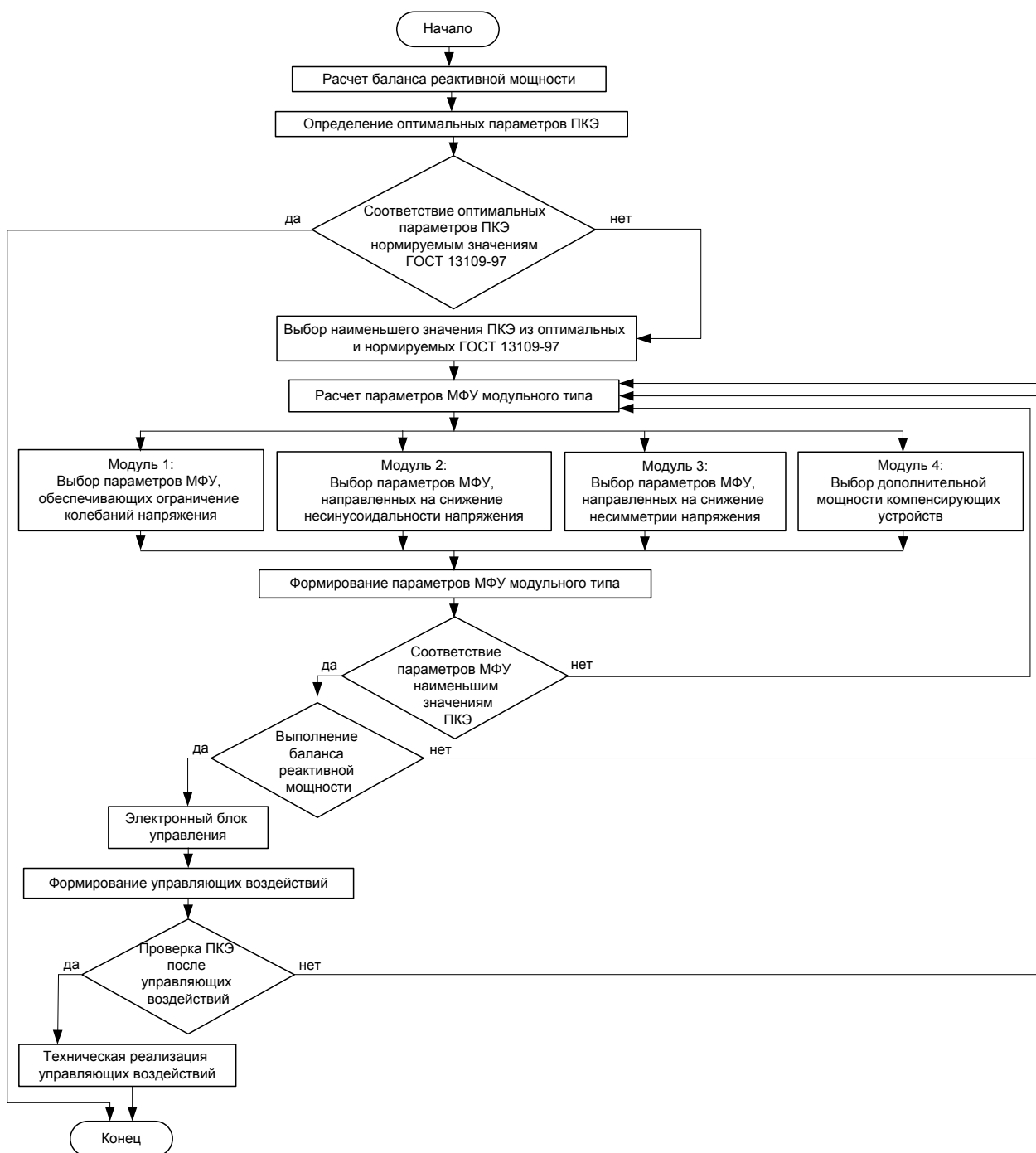


Рис. 4. Процесс выбора многофункционального корректирующего устройства для обеспечения качества электроэнергии на металлургических предприятиях

Блок контроля инновационной деятельности включает в себя разработку инвестиционных планов и программ, осуществление исследований и разработок, реализацию инновационного проекта и анализ результатов, оценку эффективности инновационных проектов и инновационных управленческих решений. Рыночная экономика требует наличия конкурентных преимуществ металлургических предприятий. Решающими конкурентными преимуществами являются качество продукта и его инновационность. Особое внимание к инновационной деятельности предприятия обуслов-

лено необходимостью обновления или замены имеющейся материально-технической базы, ее усовершенствования или модернизации в связи с изнашиванием и устареванием производственного оборудования, потребностью в наращивании и вводе принципиально новых производственных мощностей в связи с увеличением объемов производства и освоением новых видов деятельности.

В целом система управления КЭ направлена на повышение качества продукции металлургического предприятия при снижении доли затрат на улучшение КЭ в себестоимости

продукции и должна «настраивать» это качество на ожидания потребителей. Доля таких затрат может составлять до 25 % от себестоимости продукции при отсутствии системы управления КЭ.

Блок анализа затрат на повышение КЭ включает в себя инвестиционную составляющую и программу энергосбережения.

Экономический эффект от повышения КЭ выражается в отсутствии рисков из-за низкого КЭ. На металлургических предприятиях менеджмент должен быть направлен на рост производительности труда путем улучшения планирования, более эффективной организации, автоматизации производственных процессов и минимизации рисков. К рискам относятся: недоотпуск и брак продукции, увеличение себестоимости продукции и снижение ее конкурентоспособности, штрафы за искажение КЭ во внешней сети. Таким образом, повышение качества электроэнергии способствует повышению эффективности производства, приводя к снижению затрат и увеличению его доли на рынке. Систему качества в целом для металлургических предприятий можно представить в виде пирамиды (рис. 5), где качество электроэнергии играет такую же роль, что и качество материалов, работы [3].

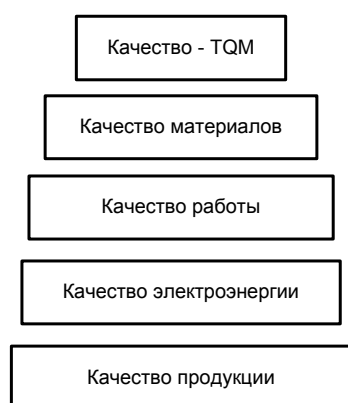


Рис. 5. Пирамида качества для металлургических предприятий

На рис. 5 наверху пирамиды находится всеохватывающий, тотальный менеджмент качества – TQM, который предполагает высокое качество всей работы для достижения требуемого качества продукции. Прежде всего, это работа, связанная с обеспечением высокого

Савина Наталья Викторовна,
Амурский государственный университет,
доктор технических наук, профессор, декан энергетического факультета,
телефон (4162) 39-46-31,
e-mail: power@amursu.ru

Козлова Татьяна Сергеевна,
филиал ОАО «ДЭК» «Амурэнергосбыт»,
инженер 2 категории,
e-mail: Tan.ok@mail.ru

организационно-технического уровня производства, надлежащих условий труда. Качество работы включает обоснованность принимаемых управленческих решений (в том числе и по качеству электроэнергии), систему планирования. Особое значение имеет качество работы, непосредственно связанной с выпуском продукции. Сюда относится контроль качества электроэнергии, контроль качества технологических процессов, своевременное выявление брака. Качество продукции является составляющей и следствием качества работы. Качество продукции – важнейший показатель деятельности предприятия, для достижения которого и разработана система управления КЭ.

Таким образом, характерной особенностью разработанной системы управления КЭ на металлургических предприятиях является обеспечение оптимальных параметров КЭ при минимальных затратах. Система управления КЭ основана на процессном подходе, позволяющем рассматривать технологию управления КЭ как непрерывную цепочку взаимосвязанных управленческих функций. В основе процессов контроля и улучшения качества электроэнергии – выбор многофункционального корректирующего устройства для обеспечения качества электроэнергии с учетом взаимного влияния характеристик КЭ и обеспечение адаптивного управления КЭ.

Список литературы

1. **Управление** качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006.
2. **Савина Н.В., Козлова Т.С.** Эксплуатационный контроль качества электрической энергии в электрических сетях // Вестник АмГУ. – 2007. – Вып. 37.
3. **Ребрин Ю.И.** Управление качеством: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.

References

1. Kartashev, I.I., Tul'skiy, V.N., Shamonov, R.G. *Upravlenie kachestvom elektroenergii* [Electric power quality management]. Moscow, Izdatel'skiy dom MEI, 2006.
2. Savina, N.V., Kozlova, T.S. *Ekspluatatsionnyy kontrol' kachestva elektricheskoy energii v elektricheskikh setyakh* [Operational quality control of electric energy in electric networks]. *Vestnik AmGU*, 2007, issue 37.
3. Rebrin, Yu.I. *Upravlenie kachestvom: uchebnoe posobie* [Quality management: Manual]. Taganrog, Izdatel'stvo TRTU, 2004.