

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

Р Е Ф Е Р А Т - П Р Е З Е Н Т А Ц И Я

Повышение эффективности работы предприятий металлургического комплекса за счет
управления и оптимизации режимов систем электроснабжения

№	Ф.И.О. авторов, ученые степени и звания, должности по основному месту работы
1.	Малафеев Алексей Вячеславович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» (руководитель работы)
2.	Варганова Александра Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
3.	Панова Евгения Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Актуальность

Научный проект направлен на повышение эффективности функционирования металлургических предприятий за счет создания и внедрения программной системы поддержки принятия решений, реализующей комплексный подход к управлению и оптимизации режимов сложных промышленных энергетических узлов.

Анализ текущей ситуации на промышленных предприятиях показывает тенденции к развитию собственной энергетической базы, усложнению электрических сетей и возможных ремонтных и послеаварийных режимов, появление в составе систем промышленного электроснабжения сетей напряжением 220 кВ и выше, что расширяет спектр задач управления режимами. В силу особенностей технологического процесса металлургические предприятия являются энергоемкими и вопросы повышения их энергоэффективности не теряют своей актуальности. Это подтверждают Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ и основные положения энергетических стратегий развития России до 2020 и 2035 г. Работа научного коллектива по решению данной задачи ведется с 2004 года. Коллектив поэтапно разрабатывал алгоритмическое и программное обеспечение для расчета, анализа и оптимизации установившихся режимов и прогнозирования аварийных режимов работы систем электроснабжения промышленных предприятий. Разработка каждого программного модуля сопровождалась его внедрением в условиях предприятия реального сектора экономики.

Научная новизна

Предлагаемый в проекте подход отличается возможностью одновременного учета затрат на производство и передачу электроэнергии, критериев надежности, эффективности работы релейной защиты, действия режимной автоматики. При этом формируются научно обоснованные рекомендации, которые согласуются с существующим режимом, настройками защит, параметрами внешней сети с целью предотвращения выхода параметров установившегося режима за допустимую область и скорейшего восстановления после аварийных нарушений. Разработанная программная система поддержки принятия решений позволяет оценить по технико-экономическим критериям предлагаемые рекомендации для последующего выбора диспетчером наиболее целесообразного варианта. Таким образом, в работе предложен комплексный подход к управлению и оптимизации режимов систем электро-

снабжения предприятий металлургического комплекса, направленный на повышение их эффективности за счет снижения потерь электрической энергии в распределительной сети, недовыработки электроэнергии и тепла местными электростанциями, затрат на эту выработку, а также времени ликвидации аварийных ситуаций.

Анализ современного состояния исследований в данной области показал, что имеющиеся методы и алгоритмы расчета и оптимизации режимов ориентированы на решение задач планирования режимов электроэнергетических систем различных уровней иерархии. Программные комплексы управления режимами, используемые в электроэнергетике, позволяют осуществлять либо локальное управление объектами, либо крупными энергообъединениями, не давая возможность реализации комплексного управления взаимосвязанными подсистемами, объединенными общностью процесса производства, преобразования, передачи и распределения электроэнергии в условиях крупного промышленного предприятия.

Описание разработки

В представленном научном проекте разработана методика расчета эксплуатационных режимов систем электроснабжения (СЭС), основанная на модифицированном методе последовательного эквивалентирования. Методика позволяет получать гарантированное решение при наличии в схеме собственных генерирующих источников и нескольких узлов примыкания к электроэнергетической системе и отличается хорошей сходимостью (2–3 итерации).

Предложен подход к математическому моделированию электрических нагрузок, основанный на их представлении в виде нечетких интервалов. Подход позволяет получать прогнозные значения нагрузок и параметров режима СЭС на основе плановых производственных показателей и отличается возможностью моделирования нагрузок, графики которых не соответствуют нормальному закону распределения, что характерно практически для всех уровней промышленных СЭС.

Для целей планирования эксплуатационных схем систем электроснабжения промышленных предприятий разработан алгоритм расчета структурной надежности, основанный на методе последовательного эквивалентирования и позволяющий рассчитывать основные показатели надежности с учетом направления потоков мощности. Алгоритм позволяет выполнять расчеты для систем электроснабжения, включающих сложнзамкнутые участки, собственные электростанции, несколько узлов

примыкания к региональной энергосистеме. Предусматривается возможность учета как отказа типа «разрыв», так и отказа типа «Короткое замыкание» (КЗ). Кроме того разработан алгоритм оценки надежности распределительных устройств главных понизительных подстанций с высшим напряжением 35 кВ и выше, учитывающий резервирование отдельных участков схемы.

В условиях действующего предприятия выполнена оценка использования существующих устройств компенсации реактивной мощности и синхронных двигателей (СД) для регулирования тарифа на услуги по передаче электрической энергии. Так как долгое время оплата потребляемой реактивной мощности не проводится, значительная доля компенсирующих устройств выведена из эксплуатации. Особое внимание уделено использованию СД для компенсации реактивной мощности с учетом их режима и конструктивных параметров. При разработке рекомендаций учтены уровни напряжения, балансы реактивной мощности в узлах и степень снижения потерь активной мощности при компенсации.

Применительно к условиям металлургических предприятий с собственной генерацией предложен алгоритм оптимизации эксплуатационных режимов загрузки генераторов с учетом потерь мощности в системе электроснабжения и приема мощности из энергосистемы. Целевая функция включает суммарные затраты на пар, идущий на производство электрической энергии, теплофикацию, технологические нужды, а также затраты на потери мощности в распределительной сети и прием мощности из энергосистемы. Ввиду нелинейного характера технико-экономических моделей источников электрической энергии применен алгоритм, позволяющий использовать функции затрат, имеющие разрывы, точки перегиба, и задающиеся в табличном виде. Он предполагает сочетание модифицированных методов эквивалентирования и динамического программирования. Разработан алгоритм оптимизации загрузки генераторов и приема мощности из энергосистемы с учетом потерь мощности в системе электроснабжения. При этом решается задача оптимального распределения активной мощности между внешними и собственными источниками электроэнергии. Алгоритм также учитывает особенности режимов работы источников малой генерации.

Для решения задачи внутристанционной оптимизации промышленных электростанций с поперечными связями также применен метод динамического программирования. Предлагается комплексное решение задачи за счет рациональной загрузки гене-

раторов и котлоагрегатов по электрической и тепловой мощности соответственно. Используется декомпозиция, на первом этапе определяется суммарная паропроизводительность котлоагрегатов, работающих на общий паропровод; на втором этапе определяется оптимальная нагрузка турбогенераторов.

В работе предложены алгоритмы расчета режимов аварийной продольной и поперечной несимметрии, а также сложнonesимметричных режимов, позволяющих моделировать повреждение (обрыв, КЗ или их сочетание) в любой фазе. Алгоритмы позволяют рассчитывать режимы несимметричного КЗ, неполнофазных, сложнonesимметричных режимов при повреждении в любой фазе с получением параметров режима во всех узлах и ветвях расчетной схемы в фазных и симметричных координатах; обладают абсолютной сходимостью для схем любой размерности. Учтена возможность наличия нескольких источников, в качестве которых могут выступать генераторы собственных электростанций и источники бесконечной мощности.

Разработаны алгоритмы и программный модуль моделирования и оценки эффективности устройств релейной защиты (РЗ) линий, автотрансформаторов и силовых трансформаторов. Разработаны математические модели РЗ, отличающиеся возможностью учета особенностей элементной базы; возможностью фиксировать моменты срабатывания пусковых органов, моменты срабатывания и останова высокочастотных приемопередатчиков, а также моменты подачи отключающего сигнала на каждый из выключателей. Информация, формируемая математической моделью, позволяет оценивать правильность работы устройства РЗ в заданной режимной ситуации. Комплексный критерий оценки эффективности РЗ включает чувствительность, селективность действия РЗ и её быстродействие, а также отсутствие качаний и нарушения устойчивости синхронных машин.

Для решения задачи дистанционного отыскания места повреждения на воздушных линиях (ВЛ) систем электроснабжения предприятий металлургического сектора при однофазных коротких замыканиях предложены математические модели, позволяющие учесть взаимную индукцию проводящих элементов и емкость проводов относительно земли, а также взаимное расположение проводов и тросов на опоре. Разработан алгоритм расчета режима однофазного короткого замыкания на ВЛ, позволяющий моделировать точку КЗ на любой опоре линии как с односторонним, так и с двухсторонним питанием, и определять токораспределение в схеме. Алго-

ритм основан на совместном использовании методов последовательного эквивалентирования и симметричных составляющих.

Практическая значимость и экономический эффект

Предложенные в работе методы и алгоритмы расчета реализованы в программном комплексе (ПК) КАТРАН и его модификациях, а также в системах автоматизированного проектирования (САПР) «ОРУ САД» и «ЗРУ САД», разработанных с целью повышения эффективности работы промышленных систем электроснабжения уже на этапе их проектирования. Получено 16 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и баз данных. ПК КАТРАН предназначен для использования службами планирования режимов и оперативно-диспетчерскими службами электрических сетей и собственных электрических станций промышленных предприятий металлургического сектора. Разработанные САПР предназначены для использования инженерами-проектировщиками электротехнических отделов проектных институтов в качестве автоматизированного рабочего места.

Авторским коллективом по тематике работы выполнено 11 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, 2 гранта федеральной целевой программы, 2 гранта Российского фонда фундаментальных исследований, а также 4 научные работы выполнены в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, 1 грант Президента для молодых ученых. Научные работы выполнены в условиях одного из крупнейших металлургических предприятий с развитой энергетической базой – ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», их результаты могут быть распространены на другие металлургические комбинаты.

Экономический эффект от внедрения обусловлен снижением затрат на выработку электроэнергии местными электростанциями и на ее приобретение у энергосбытовых компаний, снижением затрат на передачу электроэнергии по системе электроснабжения промышленного предприятия, снижением ущерба от недовыработки электроэнергии местными электростанциями в послеаварийных режимах, снижением времени устранения последствий аварийных ситуаций. Подтвержденный суммарный экономический эффект от внедрения на ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» составил 13,8 млн руб. Социальный эффект заключается в удовлетворении постоянно возрастающих требований потребителей к сортаменту и качеству продукции.