



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Научно-технической
коллегии, д.т.н., профессор

Н.Д. Рогалев

«22» апреля 2019 г.

ПРОТОКОЛ № 3

заседания секции «Активные системы распределения электроэнергии и
распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»

для рассмотрения доклада по теме:

**«Разработка методов и устройств защиты и автоматического управления
интеллектуальными системами электроснабжения с активными
промышленными потребителями»**

21 марта 2019 года

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС», сотрудники ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», Комитета ВИЭ РосСНИО, филиала «Русатом – Электротехника», ООО «НПП ЭКРА», АНО «НИЦ АТМОГРАФ», ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», ФГУП «Стандартинформ», МНПП «АНТРАКС», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского», ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», Общероссийская общественная организация «Деловая Россия», всего 19 чел.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове отмечено, что создание интеллектуальных систем электроснабжения являются перспективным направлением развития сетей среднего и низкого напряжения с объектами распределенной генерации (РГ) и управляемой нагрузкой. Они могут функционировать в составе основной питающей сети или в островном (изолированном) режиме с использованием собственной системы управления.

Развитие интеллектуальных систем электроснабжения позволяет получить определенные экономические и экологические выгоды для конечных потребителей: промышленных и коммунальных предприятий, социального сектора и др. К основным преимуществам следует отнести улучшенную энергетическую эффективность, снижение общего потребления электрической энергии, снижение выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ, повышение качества и надежности электроснабжения потребителей, а также снижение цены на электрическую энергию.

Однако, интеграция РГ в интеллектуальные системы электроснабжения, а также динамическое изменение топологии сети создает существенные проблемы для систем релейной защиты (РЗ). В частности, возможно снижение чувствительности и не обеспечение селективности работы устройств РЗ в зависимости от мест установки терминалов и параметров их срабатывания.

В указанных условиях целесообразно создание систем адаптивной релейной защиты с применением цифровых устройств РЗ и современных коммуникаций. Наиболее перспективной следует считать разработку защиты, основанной на централизованной архитектуре, с централизованной (децентрализованной) системой изменения уставок в зависимости от условий функционирования интеллектуальных систем электроснабжения.

Кроме того, еще одним важным вопросом является возможность потребителей влиять на спрос на рынке электроэнергии. Одновременность производства и потребления электроэнергии создали исторически такие условия, что потребители не имели практической возможности влиять на баланс спроса и предложения, а, следовательно, и на цены на рынке. Потребители, как правило, не уменьшают потребление при росте цены на электроэнергию. В условиях такой неэластичности спроса активной стороной, полностью определяющей цену электроэнергии, выступают производители.

Новые тенденции в электроэнергетике, применение цифровых интервальных счетчиков электроэнергии, развитие телекоммуникаций и «интеллектуальных сетей» («smart grid») предопределили возможность повышения эластичности потребления и привели к необходимости реализации концепции demand response. Управление спросом подразумевает снижение электропотребления конечным потребителем при определенных экономических сигналах рынка электроэнергии с получением платы за оказание услуги.

Управление спросом является эффективным инструментом снижения цен на рынке электроэнергии в пиковые часы, когда для покрытия спроса на электроэнергию привлекаются менее эффективные генерирующие объекты. При этом относительно небольшое снижение потребления может привести к существенному снижению цены на электроэнергию. Снижение потребления электроэнергии может осуществляться за счет использования объектов РГ (в том

числе РИСЭ, накопителей энергии и др.), регулирования интенсивности работы двигателей насосно-перекачивающих систем, изменения уставками терmostата для систем кондиционирования и/или холодильных установок, изменения или останова производственного цикла, частичное отключение освещения и других действий.

Участие потребителей в технологиях управления спросом позволяет получить экономический эффект не только индивидуальный, но и всем участникам рынка за счет снижения выработки дорогостоящей электроэнергии низкоэффективными генерирующими мощностями.

В настоящее время в России предпринимаются первые шаги по стимулированию потребителей к участию в повышении энергоэффективности и выравниванию графиков нагрузки, например, за счет внедрения дифференцированных по времени суток тарифов.

С докладом «Разработка методов и устройств защиты и автоматического управления интеллектуальными системами электроснабжения с активными промышленными потребителями» выступил д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» М.В. Шарыгин.

Основные положения доклада приведены ниже. Презентация доклада прикладывается (**Приложение 1**).

1. Представлен обзор проблем развития традиционных систем электроснабжения 6-35 кВ с учетом внедрения активных промышленных потребителей, распределенной генерации, новых информационных технологий, в том числе технологий перспективных микросетей. Показано, что в рамках традиционных распределительных сетей невозможен ни существенный рост надежности электроснабжения, ни подключение новой распределенной генерации, ни снижение стоимости электроэнергии. Традиционные сети не могут обеспечить развитие экономики в новых условиях. Требуется трансформация традиционных систем электроснабжения в перспективные микроэнергосистемы – микросети.

2. Отмечено, что первоочередными задачами разработки системы управления нормальными, предаварийными и аварийными режимами микросети являются: создание новой системы релейной защиты и автоматики (РЗА), создание принципов и методов управления активными потребителями, создание кибербезопасной аппаратной составляющей интеллектуальной системы управления и РЗА.

3. Представлены следующие разработки:

- новые методы распознавания режимов для интеллектуальной РЗА;
- новые методы построения системы интеллектуальной РЗА микросети;

- модернизирован метод агрегативного моделирования производственных систем активных потребителей для управления их нагрузкой;
- новые правила определения класса активных потребителей, методы оптимального управления ими в предаварийном и нормальном режимах микросети;
- новый метод рационального управления нагрузкой потребителей для ликвидации аварийной ситуации в энергосистеме;
- универсальные интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) с поддержкой свободной логики, протоколов связи по стандарту 61850 и с киберзащищенным исполнением.

4. Представлены статистические методы теории обнаружения, принятые в качестве теоретической базы разработки алгоритмов распознавания режимов электрической сети. Для РЗА микросетей разработано три варианта правил решения (определения настроек срабатывания РЗА - уставок): основой вариант - по критерию Байеса для минимизации риска принятия решения, дополнительные варианты - по критерию Неймана-Пирсона для ограничения ошибки принятия решения и по критерию Вальда для ограничения количества шагов принятия решения.

5. Представлены принципы организации работы простейшей РЗА, основанной на критерии Байеса:

Первый предварительный шаг: заблаговременное проведение имитационных экспериментов на математической модели электрической сети микрогрид с целью получения функций плотностей вероятностей допустимого режима $p_{H_0}(\Phi|H_0)$ и аварийного режима $p_{H_1}(\Phi|H_1)$.

Второй предварительный шаг: производится расчет порога срабатывания η . На данном шаге учитываются потери при правильном и неправильном принятии решения. Потери могут быть как техническими, так и экономическими величинами. Методы их расчета разработаны на основе агрегативных моделей.

Третий заключительный шаг: определяются уставки (границы срабатывания) путем сравнения отношения правдоподобия $\Lambda(\Phi) = p_{H_1}(\Phi|H_1) / p_{H_0}(\Phi|H_0)$ с рассчитанным порогом η . При таком принятии решения обеспечивается минимум риска потерь. После определения уставок РЗ может вводиться в работу.

Если неизвестны априорные вероятности и стоимости потерь, то возможен упрощенный подход по расчету уставок – байесовский метод вырождается в известный принцип РЗ отстройки от нагрузочных режимов и всех прочих допустимых режимов микросети.

Принципы распознавания режима сети по критерию Байеса показаны на примере расчета уставки для простейшей токовой защиты сети. Для расчета одномерной токовой защиты, основанной на критерии Байеса, были рассчитаны

функции плотностей вероятностей аварийного и допустимого режимов с учетом случайных величин сопротивлений, ЭДС, нагрузок, погрешностей трансформаторов тока, переходного сопротивления. Количество реализаций каждого режима составляло по 10 тыс. шт. Результат расчета уставок одномерной токовой защиты, основанной на критерии Байеса, совпал с уставками традиционной токовой защитой, что подтверждает правильность выбранного статистического подхода.

Дополнительно рассчитанные 3 варианта двумерных защит того же фидера сети обладают еще большим техническим совершенством – распознаваемость режимов, оцениваемая по вероятности распознавания, увеличивается в 3 раза. Этот факт доказывает, что увеличение количества наблюдаемых параметров и/или увеличение их информационной ценности повышает совершенство защиты. На основе предложенного байесовского метода возможно построение защит с почти полным распознаванием режимов сети. При этом возможно использование любых сочетаний признаков режима: напряжений, токов, углов и т.д. Метод определения уставок и согласования РЗ остается неизменным.

Достоинства разработанного метода распознавания режимов сети, основанного на статистическом байесовском подходе:

- метод позволяет принимать РЗ математически оптимальное решение, минимизирующее риск последствий отключений и нераспознавания режимов;
- метод позволяет максимально полно использовать информацию, полученную с помощью измерений. Это увеличит вероятность правильного распознавания режимов и улучшает чувствительность РЗ;
- метод обеспечивает простую реализацию адаптивных алгоритмов РЗА за счет накопления и учета реальной статистики нормальных и аварийных режимов конкретного присоединения;
- простая реализация новых пусковых органов РЗА любой мерности по любым измеряемым параметрам, дающие более высокую чувствительность РЗА;
- возможно использование в РЗА «чужих» пусковых органов смежных устройств РЗА для повышения чувствительности;
- разработан метод автоматического расчета уставок защит для любого режима и конфигурации сети. Система защиты становится способна действовать полностью автоматически при любых изменениях сети и не требует ручного расчета и пересчета уставок;
- повышается надежность на уровне алгоритма устройств РЗА: отказы измерительных преобразователей, систем связи не приводят к полному отказу защиты, а лишь к понижению чувствительности и/или быстродействия РЗА;
- разработана новая система оценки эффективности распознавания режимов – по вероятности распознавания;
- созданы новые виды автоматики.

6. Представлены новые принципы организации перспективной РЗ в микросетях с источниками распределенной генерации:

– на первом уровне защиты предложено использовать быстродействующую дифференциально-логическую защиту с использованием сети связи по МЭК 61850;

– на втором уровне предложено использовать резервную распределенную многопараметрическую защиту, основанную на статистических байесовских принципах. При действующей информационной сети связи по МЭК 61850 комплекты данной защиты будут постоянно адаптироваться к текущим режимам с помощью централизованного или децентрализованного устройства автоматического расчета параметров срабатывания РЗ. При отказе информационной сети связи по МЭК 61850 этот уровень защиты будет действовать аналогично традиционным распределенным защитам относительной селективности (МТЗ, ТО, ДЗ), но с большей чувствительностью.

Предложенная концепция системы защиты позволяет:

- увеличить чувствительность и быстродействие РЗ,
- увеличить устойчивость системы защиты к отказам информационной сети, измерительных преобразователей, отдельных устройств РЗ;
- обеспечить совместимость различных поколений устройств РЗ, возможность одновременного применения в сети совершенно разных алгоритмов для РЗ в централизованном, децентрализованном или смешанном варианте на электромеханической, статической или микропроцессорной элементной базе.

7. Для повышения распознающей способности РЗ и упрощения разработки и представления сложных многомерных защит разработан метод объединения бинарных сигналов пусков совокупности отдельных простейших одномерных пусковых органов защиты или измерений простейших одномерных измерительных органов.

Показано, что для принятия решений многомерной РЗ может быть не нужна передача объемной информации о текущих параметрах режима от измерительных органов. В простейшем случае достаточно лишь бинарных сигналов пуска от всех простейших одномерных пусковых органов. При этом терминал защиты сможет продолжать работу даже при полном отказе своих измерительных преобразователей, используя информацию от смежных терминалов РЗ.

Для практической реализации многомерных РЗ разработана технология условных уставок, которая позволяет увеличить чувствительность защиты вплоть до предела распознающей способности. Разработан универсальный многомерный измерительно-пусковой орган на условных уставках, который позволяет мгновенно перестраивать работу терминалов защиты, мгновенно, без

перезагрузки переходит на максимально информативные наблюдаемые параметры режима сети.

8. Представлен подход к согласованию между собой многопараметрических ступенчатых защит, основанных на статистических принципах, в том числе и в кольцевых сетях. Селективность защит обеспечивается за счет традиционной выдержки времени. За счет этого достигается обратная совместимость новых защит с традиционными.

9. Представлен графоаналитический матричный метод согласования ступенчатых защит относительной селективности, выполненных как на традиционном, так и статистическом принципах. Метод позволяет автоматически согласовывать и рассчитывать параметры срабатывания защит сети и внедрить технологию адаптации к конфигурации и режиму электросети.

Достоинства разработанного метода:

- результат расчета параметров срабатывания для ступенчатых защит полностью аналогичен безошибочному «ручному» расчету РЗ;
- возможен расчет параметров срабатывания РЗ в сетях любых уровней напряжения, любой конфигурации, с любым количеством источников питания;
- возможен расчет ступенчатых многопараметрических РЗ с любыми наблюдаемыми параметрами, с любым количеством ступеней, зависимыми и независимыми характеристиками, любой логикой срабатывания, любыми органами контроля направления мощности.

На примере участка сети показано применение матричных методов согласования защит между собой. В случае расчета одномерной токовой защиты сети, основанной на статистических принципах, результаты расчета совпали с результатами расчета традиционной токовой защиты сети. Это свидетельствует об эффективности и практической пригодности предложенных методов автоматического расчета уставок РЗ.

10. Представлен макет программного комплекса автоматического расчета уставок токовых РЗ. Показаны результаты расчета трех вариантов настройки 16-и комплектов токовых РЗ с сети, содержащей кольцевые и радиальные участки.

Проверка автоматически рассчитанных уставок всех защит на серии из 100 независимых вероятностных реализаций режимов каждого типа для каждой зоны защиты (всего более 1,6 тыс. режимов для примера сети) показала, что защиты надежно отстроены от допустимых режимов, неселективные действия защит полностью отсутствуют, все сетевые РЗ имеют чувствительность выше требуемой.

Проверка автоматически рассчитанных уставок всех защит при нестандартном варианте настройки селекторов мощности РЗ кольцевых участков сети показала, что они обладают примерно аналогичной эффективностью по сравнению с типовым вариантом настройки.

Автоматический расчет по заведомо невыполнимому варианту настройки селектора мощности РЗ подтвердил невозможность расчета медленных ступеней РЗ. Разработанный алгоритм сработал правильно.

Расчетом подтверждена пригодность разработанного метода для автоматического определения параметров срабатывания одномерных токовых защит в радиальных и кольцевых сетях.

Принципиально разработанный алгоритм позволяет согласовывать защиты любой мерности по любым измеряемым параметрам. Это позволяет достичь любого требуемого уровня чувствительности РЗ в сложных случаях.

11. Представлены результаты разработки нового метода оценки эффективности распознавания режимов РЗА. Предложено использовать критерий количества информации на основе информационной теории Шеннона. Информационная ценность алгоритмов РЗА определяется как прирост информации: I . Чем больше величина прироста информации I , тем реализация защиты лучше.

12. Приведены результаты разработки дифференциально-логического принципа быстродействующей защиты, использующего информационную сеть по стандарту МЭК 61850. Преимущество предложенного принципа заключается в том, что он позволяет выполнить автоматический расчет уставок РЗ и автоматическое распознавание отказов элементов РЗ с последующей реконфигурацией зон защиты с минимальной потерей селективности.

13. На основе байесовского критерия распознавания представлена разработка автоматики нормального режима, имеющей целью снижение потерь электроэнергии в трансформаторных группах подстанций за счет отключения ненагруженных силовых трансформаторов. Разработанный новый пусковой орган этой автоматики позволяет однозначно определять тренд графика нагрузки ПС и достигать максимального эффекта от переключений.

14. Показано, что в задачах РЗА микросетей необходимо применять агрегативное моделирование при исследовании производственных систем потребителей, поскольку только метод агрегативного микромоделирования позволяет учесть все слагаемые последствий отказов электроснабжения, последствий управления нагрузкой потребителей с нужной степенью детализации.

15. Представлены разработанная модернизированная агрегативная модель, которая позволяет оценить последствия отказов электроснабжения в широком круге задач даже с учетом вероятностно заданной информации.

16. Представлен необходимый объем информации по элементам агрегативной модели производственных систем потребителей. Для отделения этапа расчетов на агрегативной модели от этапа использования результатов расчета, разработан эквивалент потребителя по последствиям отказов

электроснабжения. Приведен пример эквивалента потребителя по прогнозному ущербу.

17. Предложена обновленная классификация активных потребителей: потребители-регуляторы для управления в нормальных режимах сети и аварийно-активные потребители для управления в предаварийных и аварийных режимах сети.

18. Предложено новое правило определения класса аварийно-активных потребителей: если управляющее воздействие (частичное отключение потребителя) с большой вероятностью (0,9 о.е.) не вызывает дополнительного разрушения производственного процесса этого потребителя, то оно может осуществляться, а данный потребитель может быть определен как аварийно-активный. Необходимый критерий возможной длительности отключения определяется с помощью разработанных агрегативных моделей.

19. Приведен пример неоптимального и оптимального отключения производственной системы потребителя в рамках разработанной системы критериев.

20. Отмечено, что внутренние производственные резервы потребителей могут стать аналогом традиционных резервов генерирующей мощности, систем хранения электроэнергии и успешно могут заменить или дополнить их собой.

Предложена архитектура системы мониторинга, контроля и управления электроснабжением активных потребителей.

21. Представлено программное обеспечение для анализа производственных систем с помощью агрегативных моделей производственных систем.

22. Обоснован разработанный метод оптимизации нормального режима электропотребления активных потребителей (потребителей-регуляторов) в заданные интервалы времени. Представлен пример расчета промышленного предприятия, в котором потенциал снижения потребления мощности составил 2,34 МВт при необходимой длительности снижения нагрузки на 1 час. Установленная мощность завода 6 МВт. Данный потребитель относится к подклассу потребителей-регуляторов.

23. Для перераспределения эффекта от управления нагрузкой и создания мотивации потребителей к управлению своей нагрузкой, переходу их в класс активных потребителей предложена схема реализации концепции «активный потребитель» в части управления надежностью и качеством внешнего электроснабжения. Рассмотрены шаги заключения договора по обеспечению надежности. Разработанная схема позволяет определить: уровни надежности, которые необходимо обеспечить каждому потребителю; «цену» надежности и источник финансирования обеспечения надежности; правила распределения ответственности за нарушения электроснабжения.

Пример показал, что предложенная схема оказывает стабилизирующий эффект на уровень надежности электроснабжения потребителя: только повышенные уровни надежности (1,8-0,5 откл./год) являются выгодными энергокомпаниям. При этом потребителю уровень надежности становится безразличен – он «покупает» внешнюю надежность своего электроснабжения.

Разработанные оптимизационные методы частичного отключения потребителей и регулирования их графика нагрузки могут служить элементами договора по обеспечению надежности. В этом случае будет реализован один из основных сегментов рынка системных услуг в интеллектуальной электроэнергетике: платное участие потребителей в ликвидации дефицита электрической мощности в ЭЭС, возникшего вследствие: экономии затрат на строительство пиковых генерирующих мощностей, создания «виртуальной электростанции» с потребителями-регуляторами и управления режимами локальной энергосистемы, аварийных причин.

24. Обоснованы достоинства предложенной схемы взаимодействия субъектов электроэнергетики по надежности, заключающиеся в следующем:

- стимулирование управления надежностью производится рыночным методом и взаимовыгодно для всех участников рынка;
- не требуется создания контрольных и надзорных органов;
- ожидается высокий экономический эффект в целом по отрасли, поскольку стимулируется снижение рисков нарушения электроснабжения;
- потребитель выступает в активной роли заказчика необходимого именно ему уровня надежности;
- достигается адресность повышения надежности, каждый потребитель сможет иметь ту надежность, которая ему выгодна на индивидуальных условиях;
- энергокомпании получают целевые денежные средства от потребителей для возмещения своих расходов по обеспечению надежности;
- беззатратное выделение класса активных потребителей.

25. Представлен новый метод выбора рационального управляющего воздействия на группу потребителей при внезапных групповых отключениях, в том числе при длительных отключениях, допускающих частичное разрушение производственного процесса. Подобные отключения и ограничения реализуются либо с помощью АЧР, либо с помощью графиков отключения (ограничения) электрической мощности. Разработанный метод может быть реализован в автоматической системе управления электроснабжением с аварийно-активными потребителями, либо традиционным путем.

Приведены результаты расчета нового метода выбора рационального управляющего воздействия на двух потребителей. Данные потребители могут оптимально участвовать во внезапных отключениях нагрузки и являются

аварийно-активными потребителями.

26. Предложен новый статистический метод распознавания загруженности фидеров для последующей адаптации управляющего воздействия автоматики или графиков отключений к фактической нагрузке.

Метод основан на критерии Байеса и позволяет обеспечить большее соответствие плановой величины отключаемой мощности фактически отключенной, чем традиционные решения, снизить объем отключений и тем самым уменьшить их последствия.

27. Представлены результаты разработки ООО «НПП АЛИМП» и ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева» интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) для автоматической системы управления электроснабжением с активными промышленными потребителями.

ИЭУ выполнены на основе типовых компонентов промышленной автоматизации и не зависят от конкретного производителя (кроме плат расширения и АЦП). Кибербезопасность ИЭУ может быть обеспечена за счет использования отечественной аппаратной-программной платформы «ЭЛЬБРУС» (ЗАО «МЦСТ»).

ИЭУ имеют гибкое программное обеспечение ИЭУ, кроссплатформенность, развитый человеко-машинный интерфейс. Программное обеспечение ИЭУ соответствует стандарту МЭК 61850. ИЭУ использует 256 отчетов на период промышленной частоты как для функции осциллографирования, так и для проведения измерений.

ИЭУ имеют расширяемое количество дискретных и аналоговых входов и выходных реле, необходимых для реализации функций защиты, автоматики и управления присоединением.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Илюшин П.В. (председатель секции), Безруких П.П. (Комитета ВИЭ РосСНИО), Рабинович М.А. (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»), Шихин В.А. (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»), Николаев В.Г. (АНО «НИЦ АТМОГРАФ»), Тягунов М.Г. (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»), Тарасов Д.М. (Общероссийская общественная организация «Деловая Россия»), Горожанкин П.А. (МНПП «АНТРАКС»), Матисон В.А. (ООО «НПП ЭКРА»), Родионов В.А. (филиал «Русатом – Электротехника»), Шеповалова О.В. (ООО «ВИЭСХ-ВИЭ»).

С экспертными заключениями по тематике доклада выступили:

Безруких П.П. – Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО, д.т.н.

Обратил внимание, что для участия потребителей в ценозависимом снижении потребления целесообразнее передвигать максимальное потребление

электроэнергии за часы максимума, чем прерывать технологический процесс.

Отметил, что не все группы потребителей обладают технической возможностью для участия в ценозависимом снижении потребления.

Обратил внимание, что имеет место два режима: 1) режим off-line, при котором уставки рассчитаны заранее и в зависимости от сложившейся схемно-режимной ситуации выбирается одна из рассчитанных групп уставок, 2) режим on-line, когда уставки рассчитываются непрерывно, при этом возможен централизованный и децентрализованный расчет.

Рабинович М.А. – Главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н., ст.н.с.

Обратил внимание, что при применении алгоритма Байеса всегда имеется возможность критической ошибки, однако, если отсутствуют области наложения, то вероятность возможной ошибки исчезает.

Отметил преимущество метода Байеса для расчета уставок релейной защиты и их обновления для сложившейся схемно-режимной ситуации в течение времени, что невозможно при проведении данного расчета классическим методом.

Обратил внимание, что при некоторых электрических режимах изменение уставок релейной защиты нецелесообразно.

Шихин В.А. – Заведующий лабораторией ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», к.т.н., доцент.

Обратил внимание на высокую стоимость отечественных промышленных вычислительных машин по сравнению с зарубежными аналогами.

Отметил, что представленный алгоритм позволяет различать все виды коротких замыканий и базируется на мгновенных значениях токов и напряжений.

Обратил внимание, что накопление статистических данных в конечном итоге приводит к гауссовскому распределению, при этом крайние режимы, например по току короткого замыкания определяются мощностью источника, поэтому концы гауссовского распределения ограничены, так как ток короткого замыкания не может быть бесконечен.

Тягунов М.Г. – Профессор кафедры гидроэнергетики и ВИЭ ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», д.т.н. профессор.

Обратил внимание, что при анализе модели технологического процесса производственного предприятия, в котором существуют элементы накопления, а в прилегающей электрической сети соблюдается ежесекундный баланс мощности, следует ее рассматривать как систему распределенного типа, т.е.

агрегативную систему.

Отметил, что для моделирования агрегативных систем целесообразно использовать в качестве математического аппарата – Сеть Петри, которая позволяет строить и анализировать модели различных динамических дискретных систем.

Обратил внимание, что в первую очередь применять цифровые терминалы РЗА с функцией автоматического расчета уставок целесообразно в энергорайонах, в которых происходят существенные изменения электрических режимов, требующих изменения уставок устройств РЗА.

Тарасов Д.М. – Представитель Общероссийской общественной организации «Деловая Россия», к.т.н.

Обратил внимание, что в настоящее время наблюдается тенденция роста аварийных отключений потребителей электроэнергии в связи с высокой изношенностью оборудования распределительных электрических сетей.

Отметил, что ограничением представленного метода автоматического расчета уставок является возможный дефицит вычислительных ресурсов, применяемых для решения поставленной задачи.

Обратил внимание, что схемы агрегированного моделирования предполагают наличие у потребителя накопителей (технологических и электрических), при этом в настоящее время строится достаточно большое количество новых предприятий, поэтому целесообразно рекомендовать их применение при проектировании данных объектов.

Горожанкин П.А. – Руководитель Департамента разработки и сопровождения НИОКР МНПП «АНТРАКС», к.т.н.

Обратил внимание, что современные терминалы РЗА содержат несколько групп уставок, однако для их обновления требуется перезагрузка терминала.

Отметил, что уменьшение времени срабатывания устройств релейной защиты происходит вследствие повышения чувствительности основной и резервных зон защиты, поэтому часть КЗ, которые ранее относились к резервным ступеням, переходят в ведение более быстрых ступеней.

Обратил внимание, что при наличии источников распределенной генерации эффективно применение только основных защит и защит ближнего резервирования.

Илюшин П.В. – Председатель секции, проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н.

Обратил внимание, что определяющим фактором для автоматического изменения и обновления уставок устройств релейной защиты является

складывающийся электрический режим, при этом в разных энергорайонах или даже частях одного энергорайона частота обновления уставок будет различной.

Отметил достаточную сложность выполнения работ по изменению уставок устройств релейной защиты персоналом служб РЗА при проведении ремонтных кампаний на примере московской энергосистемы.

Обратил внимание, что при выделении энергорайона с объектом распределенной генерации в островной режим работы, в связи с низкой чувствительностью из-за наличия источника ограниченной мощности, при КЗ существует высокая вероятность отказа в срабатывании устройств РЗА, уставки которых выбраны по традиционным принципам.

Обратил внимание на достаточно высокое количество выделений отдельных частей энергосистем, расположенных в централизованной зоне электроснабжения, в островной режим работы по различным причинам, в том числе, из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования распределительных сетей.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии заседание секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» отмечает:

1. В связи с тем, что проблемы управления, обеспечения устойчивости работы и защиты в традиционных системах электроснабжения приобретают особую актуальность в современных условиях структурных, организационных, технологических, технических изменений в электроэнергетике, требуется ускоренное создание новых высокоэффективных методов и систем защиты и управления перспективными системами электроснабжения – микросетями.

2. При создании новых методов и программно-аппаратных систем защиты и управления перспективными системами электроснабжения необходимо учитывать необходимость скорейшего перехода на полностью автоматические адаптивные системы, существенно повышающие скорость и эффективность управления и защиты, необходимость перехода на унифицированные многофункциональные ИЭУ, имеющие интерфейсы связи по МЭК 61850 и обеспечивающие реализацию и последующую модернизацию адаптивных алгоритмов РЗА без замены аппаратной части для снижения затрат.

3. Представленные в докладе новые методы распознавания режимов электросети и принятия решений, основанные на статистических методах позволяют синтезировать алгоритмы многомерной РЗА для любой электроустановки, любого сочетания наблюдаемых параметров и набора принимаемых решений. При этом байесовский критерий обеспечивает максимально полное использование информации, полученной с помощью замера и достижение минимального риска потерь при автоматическом управлении,

позволяя увеличить чувствительность и быстродействие РЗ.

4. Предложенные графо-аналитические матричные методы согласования многомерной РЗ сети и расчета их уставок реализуют автоматическое согласование любых типов ступенчатых защит относительной селективности между собой, что создает условия внедрения систем автоматического расчета параметров срабатывания РЗ и непрерывной автоматической адаптации к режимам системы электроснабжения. Это позволяет существенно снизить количество ошибок персонала и увеличить техническое совершенство защит, особенно в части чувствительности, и надежность электроснабжения в целом.

5. Представленный новый метод оценки эффективности распознавания режимов многомерной РЗ, основанный на расчете количества информации, позволяет выбирать наилучшие сочетания наблюдаемых параметров для максимально эффективного распознавания режимов, приводить варианты защиты сети в сопоставимый вид для отбора наилучшего варианта РЗ сети.

6. Модернизированная агрегативная модель оценки последствий отказов электроснабжения промышленных потребителей и управления нагрузкой должна применяться при эксплуатации и проектировании объектов электроснабжения, что позволит оптимально решать широкий спектр практических и теоретических задач, связанных с оценкой последствий отказов систем электроснабжения и управления нагрузкой потребителей.

7. Разработанные: правило определения класса аварийно-активных потребителей, методы поиска оптимальных вариантов отключения, ограничения их нагрузки в предаварийных и аварийных режимах, схема реализации концепции аварийно-активных потребителей, позволяют сократить ожидаемый ущерб от управления их нагрузкой, внедрить экономически взаимовыгодное управление нагрузкой активных потребителей в рынок системных услуг.

8. Технология автоматического расчета параметров срабатывания многомерной релейной защиты и автоматики, методы управления активными потребителями, методы выбора рационального управляющего воздействия на отключаемых потребителей, представленные в докладе, являются технически зрелыми и удовлетворяют современным требованиям.

Заседание секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» решило:

1. Положительно оценить опыт ООО «НПП АЛИМП» и ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева» по разработке методов, алгоритмов и устройств многомерной защиты и автоматического управления системами электроснабжения до 35 кВ, включающих активных промышленных потребителей, для повышения эффективности электроснабжения, и рекомендовать продолжить исследования в области разработки программно-

аппаратных комплексов защиты электрической сети и управления системами электроснабжения для последующей реализации пилотных проектов.

2. Рекомендовать ГИПам проектных организаций при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий рассмотреть целесообразность: применения технологии автоматического расчета уставок РЗА в АРМ инженеров-релейщиков; внедрения информационного метода оценки эффективности распознавания режимов РЗ; перехода на терминалы РЗА с новыми многомерными защитами; внедрения новой двухуровневой системы адаптивной РЗ на статистических принципах с применением информационной сети МЭК 61850; перехода на оценки последствий отказов электроснабжения и управления нагрузкой потребителей с помощью агрегативных моделей производственных систем с целью минимизации ущербов потребителей.

3. Рекомендовать предприятиям-изготовителям устройств РЗА рассмотреть возможности внедрения в продукцию функции высокочувствительной многомерной РЗА, основанной на статистических принципах, а также разработки промышленного программного обеспечения по автоматическому расчету параметров срабатывания (уставок) традиционных и многомерных РЗА.

4. Рекомендовать главным инженерам электросетевых компаний и их филиалов рассмотреть возможность использования агрегативных моделей для анализа производственных систем потребителей, с целью оптимизации параметров настройки устройств противоаварийной автоматики, мест ее размещения, а также оптимизации графиков ограничения режима электропотребления и графиков временного отключения.

5. Рекомендовать главным энергетикам и собственникам промышленных предприятий рассмотреть возможность применения агрегативных моделей для анализа производственных систем, с целью минимизации влияния отказов систем электроснабжения на производственную деятельность и оптимизации управляющих воздействий при ограничения режима электропотребления и графиков временного отключения.

6. Рекомендовать Минэнерго России рассмотреть возможность включения в программы цифровизации субъектов электроэнергетики предложенных устройств многомерной защиты и автоматического управления распределительными сетями напряжением до 35 кВ.

С заключительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н. Илюшин П.В. в котором отметил, что необходимость применения устройств многомерной защиты и автоматического управления в системах электроснабжения с

объектами РГ и распределительных сетях продиктована массовой интеграцией объектов РГ и микрогенерации, в том числе на базе ВИЭ, что крайне актуально для ближайшего будущего электроэнергетики России.

Управление спросом со стороны активных промышленных потребителей, которое в настоящее время получает свое развитие, позволит не только содействовать снижению цены на оптовом рынке электрической энергии и мощности, но и создать условия промышленным потребителям, имеющим соответствующие технологические возможности, оптимизировать свои затраты на электроснабжение.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

В.В. Молодюк

Председатель секции «Активные
системы распределения ЭЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

П.В. Илюшин

Ученый секретарь Научно-
технической коллегии, к.т.н.

Я.Ш. Исамухамедов

Ученый секретарь секции «Активные
системы распределения ЭЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС»

Д.А. Ивановский