

УДК 621.313.32*Никифоров А. П.***СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ МЕТОД
СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ***ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»*

Рассматриваются примеры применения структурно-информационного метода для сквозного проектирования (анализа, синтеза, конструирования) устройств релейной защиты и автоматики. Универсальность понятия информация и эффективность предлагаемого метода позволяют решать по смыслу более емкие задачи, а также более широкий круг задач. Оперирование смысловой информацией, дает возможность достичь требуемых результатов в случаях, когда обычно применяемые методы оказываются мало эффективными.

Ключевые слова – структурно-информационный метод, иерархический метод, моделирование, релейная защита и автоматика, распределительные сети, режим заземления нейтрали, однофазное замыкание на землю, компенсация емкостных токов, регистратор аварийных процессов

Examples of application of a structural-information method for through designing (the analysis, synthesis, designing) devices of relay protection and automatics are considered. Universality of concept the information and efficiency of an offered method allow to solve on sense more capacious problems, and also more the broad audience of problems. Operating by the semantic information, enables to reach, required results in cases when usually used methods appear poorly effective.

Key words - a structural - information method, a hierarchical method, modeling, relay protection and automatics, distributive networks, a mode of grounding, single-phase short circuit on the ground, indemnification of capacitor currents, the registrar of emergency processes

Введение. В энергетике развитие технологий в области релейной защиты и автоматики (РЗА), приводит ко все большему переходу к интегрированным, интеллектуальным, централизованным устройствам и системам, которые связаны, прежде всего, с обработкой информации входных координат устройств по смыслу, причем этот смысл приближается все более к особенностям восприятия человека (оперативный, релейный персонал) чем к конструктивным особенностям и возможностям устройств или технологического процесса. Если для разработки и дальнейшего совершенствования устройств при переводе алгоритма работы устройств от «простых» электромеханических к статическим устройствам было достаточно перевода алгоритма работы через структурную схему на электронный и ШИМ языки конструирования, то переход к работе устройств по смыслу требует других подходов к конструированию.

Эта работа приближает читателя к оперированию преимущественно смысловыми информационными составляющими входных координат устройств по отношению к параметрической информации. Приведенные подходы и методы должны помочь при конструировании более свободно и качественно создавать устройства, в эксплуатации – более качественно выполнять настройку, ремонт и обслуживание, при обучении – более глубоко разбираться в алгоритмах большего количества известных устройств, повышая свой уровень знаний и тем самым квалификацию [1, 6]. Работа основана на курсах, которые автор читает студентам электротехнического факультета университета, что отложило определенный отпечаток на выбор материала. Работа может быть полезна (см. перечень литературы) в качестве изучения объектов управления и защиты (ОУЗ), а также задач управления для специальностей АСУ, ВТ. К целям работы относятся -

- Ознакомление читателя с современными способами обработки информации.
- Предложить эффективный, строгий, точный способ сравнения устройств (сходных или новых) для более широкого применения заинтересованными специалистами в своих областях деятельности.

- Дать рекомендации по получению недостающей информации по устройствам, по практическому выбору устройств под конкретные задачи эксплуатации.
- Дать практические навыки по сквозной разработке интеллектуальных устройств и моделированию в САПР.
- Показать на примерах применение структурно-информационного метода.

Обзор источников. Рассматривая разработанные человеком конструкции, подходы к технике, технологическим процессам, можно заметить качественное подобие их между собой и отличие их от естественных конструкций, существующих в природе. Отличия можно связать с наличием способа движения (искусственные - вращающегося действия) и источниками энергии (искусственные – централизованные). Например: поступательные (импульсные) движения живых конструкций (мышцы) заменяются непрерывно действующими технологическими процессами с цепочкой (цепью) преобразований – «от задания к выходу». Распространяя далее подобие искусственных конструкций на методы их разработки можно сказать, что методы анализа и синтеза уместно также применять не отдельно для каскада, устройства, ОУЗ, а для всей цепочки (последовательности) каскадов – от задания к выходу. Назовем такой метод разработки – разработка по смыслу.

Устройства состоят из отдельных каскадов, соединенных согласно непрерывности цепочки преобразований. Каскады могут строиться на различных принципах – языках конструирования (механико-физических, статических (ШИМ), цифровом программном). Однако для известных классических методов, работающих с параметрами сигналов и элементов схем, назовем их параметрическими методами (ТОЭ, Кирхгофа, потенциалов и т.д.) в основном непрерывность анализа и синтеза цепочки каскадов оказывается трудоемкой задачей. Классические методы, приведенные в ТОЭ, относятся к отдельным каскадам преимущественно в статическом режиме. Курс ТОЭ завершается понятием об операторных методах и передаточной функции. Курс ТАУ начинается с понятия об операторных методах, передаточной функции и характеристических уравнений. Известные дифференциальные методы

оперируют параметрами переходных процессов, технологических процессов, ОУЗ. Требуют численного интегрирования.

Моделирование (анализ, синтез, конструирование) системы (устройства) при оперировании смысловым потоком информации может показаться сложным и многообразным. Поэтому возникает задача поиска метода эффективно преобразующего поток информации структурными элементами (передаточными функциями, блоками, каскадами) устройств и системы «от задания к выходу».

В тоже время существуют структурные методы моделирования, которые оперируют, прежде всего, структурными взаимосвязями между составляющими объекта. Структурно-информационные методы тесно связаны с понятием передаточная функция, хотя и оперируют структурной информацией, но не оперируют смысловой информацией. Можно сказать, что структурно-информационные методы, работая с потоками любой информации, возможно, являются методами, включающими в себя известные методы (Кирхгофа, орграфов, структурных, автоматных, надёжностных, диагностирующих и т.д.) в качестве частных случаев.

В этой работе рассматривается применение структурно-информационных методов для разработки конструктивных решений в области электротехники. Благодаря универсальности понятия «информация», структурно-информационные методы, разработанные, применяемые в одной из областей конструирования, а также могут применяться в других областях конструирования и могут быть главными при представлении полученных результатов и преподавании многих дисциплин.

Основной материал. Структурно-информационные методы известны с тех пор, когда началось оперирование смысловыми составляющими информационных потоков в областях работы с информацией в области распознавания образов [2, 3]. Под «образом» будем понимать любой объект, который имеет характеризующие его признаки и который необходимо выделить для дальнейшего принятия решения среди других объектов. К

достоинствам структурно-информационных методов можно отнести слабую зависимость результатов от параметров (сигналов, технологических процессов в ОУЗ, различий между ОУЗ при эксплуатации устройств, внедрении одинаковых устройств при изменениях и отличиях ОУЗ и др.).

Структурно-информационные методы можно разделить на статические и динамические. Статические методы применяются в основном для оперирования накопленным массивом информации (применяются чаще в области технической частичной диагностики, самоконтроля). Динамические методы применяются при распознавании в условиях непрерывно изменяющегося во времени потока информации, в условиях смены во времени объектов распознавания. Таким образом, распознавание сути переходных процессов в ОУЗ является областью применения динамических структурных методов.

В этой работе рассматриваются динамические и статические методы применительно для различных задач электротехники. Далее приведены примеры [6-10, 13-18] успешного применения структурно-информационных методов для решения «простых» и «совершенных» информационных задач, решаемых по смыслу во всей технологической цепочке – от задатчика и от ОУЗ, через информационные датчики, устройство (конструкция), экспертную и интерактивную систему управления, исполнительный орган, ОУЗ [11, 15]. Таким образом, получается, по смыслу универсальная система автоматической стабилизации нормального режима работы (АСНОР) ОУЗ [11, 15]. Система АСНОР применима для большинства задач в области РЗиА [6].

Наиболее эффективным в этой задаче распознавания оказался структурно-лингвистический метод (СЛ) [5, 6]. Метод основан на аналогии со структурой языка. В самом деле, последовательное появление букв в словах, слов в предложении, смысла в абзаце сходно с появлением во времени структурных информационных составляющих при развитии переходных процессов в ОУЗ. СЛ-метод эффективно применяется для статических и динамических задач.

В работе приведены результаты конструирования устройств (систем) управления, полученные на основе СЛ-метода и иерархического методов. В

основе получения результатов лежит «Теорема о наличии смыслового сигнала в устройствах РЗА» [5]. Передаточная функция W является первичной информацией для операторных методов. Структурно-информационные методы тесно связаны с операторными, могут основываться на понятии «передаточная функция» W . Задействуют подходы к получению результатов, наработанные в ТАУ, но главное отличие состоит в том, что первичной информацией для методов являются терминальные символы (ТС), которые максимально полно представляют информацию о структуре объекта. Можно заметить, что передаточная функция W оперирует параметрами объектов, а потоки информации состоят, прежде всего, из параметров ОУЗ. Структура объекта представляется потоками информации, проходящей через передаточные функции и ими преобразующийся. В связи с этим потоки информации на структурных схемах изображаются более толстыми линиями.

Таким образом, операторные методы относятся к параметрическим методам со всеми достоинствами и высоким уровнем эффективности представления информации. Однако сама параметрическая информация подвержена изменениям, причинами которых оказываются различного рода помеховые сигналы и смысловые составляющие ситуаций. Следовательно, система в передаточных функциях хоть и представляет собой структурную взаимосвязь в объекте [7] и позволяет отслеживать влияние того или иного параметра на промежуточные и конечный результаты все же является параметрическим методом со всеми вытекающими отсюда недостатками. К основной задаче операторных методов для устранения влияния одного или нескольких параметров или их совокупности на конечный результат является поиск таких способов обработки потоков информации, чтобы устранить влияние этих параметров на конечный результат. Достигая при этом улучшения работы всей системы.

Форму представления информации для последующего принятия решения можно разделить на абсолютный и относительный. Известно, что устройства, использующие абсолютный способ обработки информации имеют низкую

селективность и помехоустойчивость работы [7-11, 20]. Здесь полезная аналогия – низкое качество приема-передачи «АМ» по сравнению с «FM». Отчасти потому, что восприятие оперативным персоналом величин параметров сигналов, изменяющихся в широком диапазоне амплитуд и частот переходных процессов в ОУЗ, оказывается менее эффективным для смыслового принятия решения при абсолютной форме представления информации сравнению с относительной формой.

Для достижения полной независимости конечного результата от параметрической информации можно перейти к структурно-информационному методу, для которого первичной информацией являются ТС. ТС являются по своей сути информационными датчиками структурных взаимосвязей в объекте распознавания. Так, наличие сигнала во входной координате устройств заменяется пороговым датчиком с наибольшей чувствительностью, тогда все изменения параметра не будут влиять на формирование ТС. Сам объект представляется структурными взаимосвязями между ТС. Получающиеся нетерминальные символы (НТС) являются также информационными датчиками для последующих НТС. В результате структурная схема объекта распознавания представляет собой дерево определения, показывающего взаимосвязь ТС, НТС и правил P при получении конечного результата $S(t)$.

Задачей структурно-информационных методов является получение более «емких» результатов, относящихся к смысловой обработке информации. Более высокий уровень абстракции структурно-информационных методов по сравнению со статическими и операторными не усложняет понимание. При введении аналогии между структурным методом и языком уровень сложности даже понижается до известных из школьного курса понятий – морфология, синтаксис, семантика и правил их обработки.

При обработке информационных составляющих и конструированию устройств и систем управления важно ориентироваться не только в методах решения задач, представления информации, но и в подходах к решению задач [19]. Это известные подходы, которые широко применяются индивидуально

разработчиками, при этом значимости иных подходов не отдается должное, и часто противопоставляются. Имеются в виду пары подходов – конструктивизм – формализм, дедуктивный – индуктивный.

Под конструктивизмом понимается приоритет в оперировании информацией, ориентирующийся, прежде всего на конечную смысловую информацию об объекте, системе, ставящей на каждом шаге преобразований во главу угла конструктивную целесообразность выполняемых действий. Под формализмом понимается приоритет, ориентирующийся на оперирование, прежде всего математическим выводом, исходящий от формального обозначения объектов, часто не контролирующей физического смысла промежуточных результатов. Под дедуктивным способом понимается приоритет относительно появления нового результирующего (искомого) источника информации, исходящий из того, что для получения «новой» информации следует «правильно» формировать логические выводы и «достигать» желаемого результата. Под индуктивным способом понимается приоритет, исходящий из того, что для получения новой информации необходимо привлечение дополнительных средств и источников информации.

Следует отметить, что каждый подход имеет достоинства и недостатки. Приведенные в этой работе результаты получены с привлечением перечисленных выше подходов, способов и методов. Причем в последовательности, пропорции и сочетании, которые не только не привели к противопоставлению их между собой, но и оказались необходимым дополнением один другому. Общая эффективность подходов оказывается выше и позволяет получать более значимые результаты при постановке более емких задач. Рассмотрим, каким образом это может происходить.

Часто задача разработки сводится к совершенствованию известного оборудования, устройств, и так далее. Рассмотрим более подробно понятие «совершенствование». Полагаем, что все интересующие вопросы и задачи следует рассматривать в процессе их развития – предыстория, современный уровень и далее новый шаг развития. Допустим, изначально известные

устройства, например, [7-9] были разработаны авторами на основе всех перечисленных подходов. Далее либо опыт эксплуатации (наличие неустойчивости работы устройств), либо смена требований, моды, элементной базы, показывают необходимость нового этапа совершенствования. Исходя из конструктивизма, на основе дедуктивного способа формируются требования к конструкции на современном этапе, учитывающие опыт эксплуатации, устраняющий недостатки в работе и так далее. При этом выделяются элементы (блоки) структурной схемы устройства (системы) которые в рамках конструктивизма не позволяют решить поставленную задачу. Эти элементы (блоки) с четким заданием вход-выходных данных и с требуемым результатом преобразования информации передаются для разработки в рамках формализма и дедуктивного способа. На этом этапе, помимо решения поставленной задачи, возможно выявление и получение результатов, которые способны изменить общее решение, полученное на уровне конструктивизма. В том числе и решения, изменяющие эволюционный тип совершенствования на революционный. В этом случае появится еще один шаг в итерации разработки (совершенствования).

В процессе достижения поставленных требований на этапах конструктивизма и формализма в виду ограниченности дедуктивного способа получения необходимого результата может оказаться, что дедуктивного способа недостаточно или дедуктивный способ дает ряд схожих результатов. Тогда задействуется индуктивный способ получения недостающей информации, привносящий дополнительную необходимую информацию.

Весь процесс разработки (совершенствования) носит итерационный характер и поэтому задача совершенствования или разработки выполняется в САПР сквозного проектирования [17]. При этом контролируются оптимизационные требования к конструкции устройств и системы по выдвигаемым критериям. Среди оптимизационных критериев наиболее часто применяются – минимизация элементной базы, габаритов, соответствие «сложности» конструкции «сложности» задачи, «простоты» эксплуатации,

техничко-экономических затрат, а также максимизация технических характеристик алгоритмов.

Примеры применения структурно-информационного метода для конструирования. Рассмотрим кратко области применения структурно-информационного метода и результаты, которые можно эффективно получить, применяя структурные, иерархические методы при задействовании относительных способов обработки информации. Далее приведены примеры разработки устройств системы АСНОР в САПР сквозного проектирования.

1. *«Теоретическое обоснование совершенствования устройств».* Итерационный характер конструирования, а также необходимость представления результатов широкому кругу специалистов (конструктивистам, формалистам) требует теоретически строгой формулировки сути представления решаемой задачи и предпринимаемых действий. Так на одной из итераций формируется теорема (или ряд теорем и др.). В работе [5] приведена *«Теорема о наличии смыслового сигнала в устройствах РЗиА»* обобщающая результаты по моделированию (анализу, синтезу) и конструированию устройств. Теорема, полезна для описания поведения устройств систем РЗиА в условиях разнообразия входных смысловых ситуаций [6-11, 14-17]. В основании теоремы положено представление входных сигналов переходных процессов как последовательного во времени потока смысловой информации. Смысловая информация переносится параметрами входных сигналов (моделируют сигналы) и является более высоким уровнем абстракции в интерпретации входных координат по отношению к параметрическим представлениям.

Читатели могут применить теорему по аналогии с приведенными далее исследованиями (см. ссылки на литературу) или для решения задач в смежных областях синтеза и конструирования устойчиво работающих устройств. Таким образом, теорема имеет не только теоретические результаты и приложения, но и практические, в виду появления различных задач, которые появляются при внедрении и эксплуатации известных устройств.

2. *Разработка интерактивного интерфейса, работающего со смысловой информацией.* Многообразие реакций на переходные процессы в ОУЗ предъявляют к разработке терминала системы АСНОР ряд требований касающихся полноты информационного обеспечения, устойчивости поведения алгоритмов работы терминала и сопутствующих устройств, а так же эффективности их воздействий на ОУЗ. Хотя терминал – автоматическое устройство, но конечный наблюдатель смыслового результата работы терминала и системы АСНОР – человек. Смысловая информация, выдаваемая на графический интерфейс терминала специально для оперативного персонала, оказывается последним рубежом в системе стабилизации в случаях возникновения «*Неопределяемой ситуации*» в ОУЗ. Разработаны [10, 14] пути построения экспертной системы терминала для подготовки диагностических смысловых сообщений. Приведен пример разработки человеко-машинного интерфейса терминала «*Т-КНПС-1*». Смысловые диагностические сообщения, составленные при долгосрочном накоплении и осмыслении информации, предназначены для эффективной работы оперативного персонала, служб РЗиА и высоковольтной изоляции.

Изучены [14] известные способы реализации интерфейсов устройств РЗиА, применяемых в энергетике. В основу разработки положено требование о том, что реализация мнемонических графических форм представления информации и эргономическое построение органов управления терминалом с точки зрения интуитивно-понятных обозначений не будет усложнять систему управления и защиты ОУЗ, а наоборот будет способствовать повышению эффективности устранения сложных неоднозначных смысловых ситуаций при работе ОУЗ. При построении системы АСНОР контура нулевой последовательности сети (КНПС), таким образом, удастся поддерживать максимально возможную эффективность работы режима заземления нейтрали (ЭФРН) и защитного оборудования сети на длительных интервалах времени эксплуатации сети, а также при различных изменениях и реконструкциях сети. Мониторинг, самоконтроль формируемого терминалом смыслового сигнала $S_{ЭФРН}(t)$ позволит

службам планировать и оценивать результат проводимых профилактических мер по совершенствованию работы защитного оборудования всей высоковольтной гальванически связанной распределительной сети. Таким образом, этот этап разработки выполняется преимущественно на основе конструктивизма и дедуктивного способа обработки информации. Этап заканчивается формированием требований к выполняемым функциям к конструкции системы АСНОР и устройствам.

3. *Разработка системы АСНОР КНПС.* Этап синтеза задействует преимущественно формальный подход и дедуктивный способ реализации сформулированных требований. Формальное решение общей задачи начинается с синтеза системы АСНОР, далее подсистем, затем устройств, которые реализуют алгоритмы работы подсистем. Рассмотрим эти этапы синтеза. Работа системы АСНОР [14, 18] основана на обработке смысловых информационных составляющих переходных процессов в сети при однофазных замыканиях на землю, которые поставляются устройствами СП и подсистемами мониторинга. Такой подход к построению системы позволяет устранить неустойчивую работу устройств СП. Синтез требуемых показателей работы системы (устройств), отличается простотой, полнотой исследуемых вопросов, наглядностью и строгостью получаемых результатов.

4. *Разработка «сканера-анализатора».* Рассматривается [14, 17] устройство, реализующее задачу построения системы АСНОР ОУЗ. Устройство функционирует в нормальном режиме ОУЗ, а так же при различных переходных процессах в ОУЗ. «Сканер-анализатор» непрерывно формирует смысловой сигнал $S(t)$, отражающий работу ОУЗ, и контролирует отклонение смыслового сигнала $S(t)$ от уставки «Нормальный режим работы» ОУЗ. «Сканер-анализатор» помимо работы в автоматическом режиме, позволяет выдавать диагностическую информацию с помощью графического интерактивного интерфейса интуитивно понятным образом для подсказки оператору. Также фиксируется в аварийном файле смысловое развитие переходного процесса в ОУЗ. Организация режима работы терминала в

качестве «сканера-анализатора» позволяет решить задачу об устойчивом поиске поврежденного участка ОУЗ. В работах [14, 17] показано, что эту задачу следует решать не столько средствами релейной защиты, а вследствие работы «сканера-анализатора». Оператор, основываясь на этой информации, может выполнить действия для устранения смысловой «*Неопределяемой ситуации*» в ОУЗ.

«Сканер-анализатор» реализуется в виде программного инструмента терминала «*T-КНПС-1*», может также реализовываться в виде цифрового терминала ячейки ТН или выносной операторской панели, программного обеспечения ПК щита АСУ-ТП-ГЩУ, рабочего места служб РЗиА и изоляции [14, 17]. «Сканер-анализатор» связывается с устройствами системы АСНОР по локальной информационной сети. Программа конфигурации терминала позволяет задействовать другие устройства системы в качестве дополнительных информационных датчиков. Принцип формирования смыслового сигнала $S(t)$ изначально ориентирован на такую возможность.

5. *Анализ известных устройств.* При разработке и совершенствовании устройств (системы) важно ориентироваться в известных или новых разработках. Для этого необходим этап анализа известных устройств. Анализ выполняется на основе построения иерархической линии «от простого к совершенному». Предложено решение задачи в общем виде [6-9, 14], позволяющее просто и наглядно контролировать информационные потоки от входов устройств к получению смыслового результата. Решение задачи выполняется исходя из рассмотрения общей системы АСНОР. Результаты теоретических исследований представляются в виде интуитивно понятных объединенного дерева определения (распознавания) устройств и таблицы иерархического развития устройств [6-9, 14], позволяющих читателю самостоятельно анализировать возможности и перспективы работы интересующих устройств, а также возможных устройств (незаполненные ячейки иерархической таблицы).

Таким образом, исходя из иерархического метода под разработкой нового устройства, будем понимать заполнение пустой ячейки иерархической таблицы, а под совершенствованием будем понимать целенаправленный шаг в сторону расширения иерархической таблицы устройств более высокого уровня (создание новой ячейки иерархической таблицы по диагонали). Следует отметить, что остается возможность решения общей задачи на принципиально другой основе. Тогда иерархическая таблица должна быть составлена для новой эволюционной ветви развития устройств (системы).

Приведены [6-9, 14] примеры анализа конструктивных решений в области защиты распределительных сетей среднего класса напряжения от повреждения фазной изоляции на землю. Изучается вся иерархическая цепочка известных устройств (СП поврежденного участка КНПС, централизованного СП, терминалов РЗиА). Выполнен анализ известных конструктивных решений этих устройств. Даны выводы по эффективности работы устройств. Проведен большой объем работы в плане накопления исходного материала, развития теоретических исследований и методов, а также практических реализаций выходных результатов. Результаты исследований показывают направление совершенствования известных и развития новых устройств.

6. *Моделирование устройств в САПР сквозного проектирования.* Приведены [10, 14-17] этапы и результаты моделирования при разработке устройств. Моделирование выполняется согласно структурно-информационному методу при подаче на входы устройств высокочастотных сигналов аварийных файлов. Моделирование при разработке новых алгоритмов позволяет целостно, ясно контролировать и излагать задачи и результаты работ. Результаты моделирования показывают причины неустойчивого поведения известных устройств. Разработаны алгоритмы [10, 14-17, 18] не только устойчиво работающих устройств СП, но и решаются задачи оптимизации алгоритмов. По аналогии заинтересованные специалисты могут изучить и другие конструктивные решения различных устройств и предложений, предлагаемые для внедрения эксплуатирующим организациям.

В САПР сквозного проектирования «OrCAD», «Matlab (Simulink, StateFlow...)» синтезированы алгоритмы работы устройств, рассчитаны параметры их структурных схем, разработаны печатные платы и конструктивы.

7. *Оптимизация работы режимов заземления нейтрали.* Работы [10-18] посвящены совершенствованию режима заземления нейтрали и средств защиты распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ от повреждений изоляции на землю. Рассмотрены [18] известные варианты временного противоречия между возможностью самоликвидации места повреждения изоляции [11, 12] и действием устройств СП [14-17] для различных типов заземления нейтрали.

Предложен и обоснован новый способ разрешения временного противоречия [13, 18]. Способ основан на изменяемой выдержке времени между действием подсистемы, способствующей самоликвидации и действием устройств СП. Изменения выдержки времени зависит от изменения величины смыслового сигнала $S(t)$, формируемого в системе АСНОР КНПС. Нормативными документами не запрещается изменение этой выдержки времени. Показано, что известные и применяемые на практике в устройствах выдержки времени (например, 0.1с, 1.5с, 8с, 4 часа) являются частными случаями результата, полученного структурно-информационным методом. Предложенный в работе [18] новый способ, позволяющий правильно определять и задавать выдержки времени для каждого переходного процесса любой распределительной сети является дальнейшим шагом в совершенствовании режимов заземления нейтрали. На этой основе не только уменьшаются последствия развития ОЗЗ, но также повышается устойчивость энергообъектов в целом и снижается нагрузка на оперативный и диспетчерский персонал, уменьшается объем работы ремонтных служб.

8. *Уточнение сути переходных процессов в ОУЗ.* Выполняется с помощью высокочастотного регистратора. В работах [13, 18] дается решение задачи восполнения информации, поставляемой низкочастотными цифровыми регистраторами переходных процессов в распределительных сетях. Показано, что информация, регистрируемая на подстанции аварийными осциллографами,

отображает в основном доступную на подстанциях результирующую смысловую составляющую о срабатывании устройств РЗиА. Используя эту информацию, удастся в большем числе случаев восстановить суть переходных процессов в ОУЗ. Но при появлении сложных и неустойчивых переходных процессов с дополнительными информационными составляющими однозначно выяснить причину развития переходных процессов в ОУЗ оказывается затруднительно. Недостаточность информации проявляется в случаях развития сложных переходных процессов, часто связанных с повреждениями изоляции фаз на землю. Для однозначности идентификации причины развития аварий и переходных процессов в сети необходимо восполнение информации за счет регистрации координаты z_{i0} , доступной только высокочастотным регистраторам ячейки КРУ.

В работах [13-18] предлагается совместить функции регистратора и устройства СП в одном устройстве. Сравнительно большой объем получаемой информации анализируется несколькими этапами - в устройстве СП и экспертной системе терминала КНПС. Формирование смыслового сигнала $S(t)$ приводит к сжатию информации и возможности ее анализа на разных уровнях иерархии. Результат представляется персоналу в подготовленной графической и текстовой форме мнемоник и диагностических сообщений [10, 14]. В случае необходимости уточнения сути и причины переходного процесса персонал служб может получить аварийный файл, хранящийся в карте памяти разработанного устройства. Работы [14-17] показывают пути дальнейшего повышения информативности аварийных файлов регистраторов и устойчивости работы устройств СП.

9. *Разработка устойчиво работающих алгоритмов устройств.* Согласно структурно-информационному методу полагается, что работа устройств основана на обработке смысловых информационных составляющих переходных процессов в ОУЗ при ОЗЗ, которые поставляются разными устройствами и подсистемами общей системы АСНОР. В работах [15, 16] приведено построение устойчиво работающего индивидуального устройства

СП поврежденного участка КНПС при ОЗЗ в распределительных сетях 6-35 кВ. Синтез нового устройства СП с требуемыми в настоящее время качественными показателями работы, отличается наглядностью и строгостью получаемых результатов, хорошо отражают преимущества выбранного метода разработки. Результаты моделирования и конструирования показывают возможность достижения устойчиво работающего устройства СП при условии регистрации в нем высокочастотных аварийных файлов и быстродействующей обработки их в реальном масштабе времени. Конструктивно устройство СП выполнено на признанной в мире элементной базе. Читатели могут применить ход разработки этого устройства для решения других задач.

В работах [10, 14] приведено построение устойчиво работающего устройства централизованного СП. Повышения устойчивости работы устройств на длительных интервалах времени достигается на основе подсчета весовых коэффициентов ТС, НТС, а также задействования дополнительных относительных ТС, НТС. Задача повышения селективности решается целостно в общей системы АСНОР КНПС. Среди дополнительных относительных критериев можно выделить имитацию сравнения температур нагрева шунтов на выходах трансформаторов $3i_0$ каждой из участков [14]. Имитация определения температуры выполняется подсчетом площади зарядной составляющей переходного процесса при повреждении фазной изоляции. В САПР синтезирована схема подсчета и сравнения площадей, цифровые фильтры, выполнена проверка селективности критерия и работы схем на реальных высокочастотных аварийных файлах [14, 17], синтезирована принципиальная схема нового устройства СП.

10. *Сквозное конструирование современных устройств.* Приведенное выше взаимодополнение конструктивизма, формализма, индуктивного и дедуктивного способа в полной мере относится и к разработке конструктивов устройств и их программного обеспечения. Сквозное проектирование устройств (системы) выполняется в САПР в основном на основе конструктивизма. Разработка имеет характер изменений, вносимых в исходный

проект, влияние которых проверяется анализом изменений при быстром моделировании проекта. Конечный результат учитывает оптимизацию и предъявляемые требования. Таким образом, в САПР разрабатывается вся цепочка устройств, конструктивов, а также формируется готовая конструкторская документация. В работах [11-18] показываются этапы разработки (совершенствования) конкретных устройств в САПР сквозного проектирования (от алгоритма, до структурной схемы, элементов структурной схемы, аппаратных, программных, конструктива, печатных плат). Для создания рабочего места разработчика устройств РЗА задействуются САПР «OrCAD», «Matlab (Simulink, StateFlow...)», специализированные САПР поддержки проектирования программируемых микропроцессорных (МК), ПЛИС.

Итерация в разработке (совершенствовании) программного обеспечения вносит коррективы в конструкцию устройств. В работе [17] показывается, что задача построения терминала эффективнее реализуется на МК, обладающих вычислительной мощностью, достаточной для работы ядра операционной системы реального времени (ОС РВ), позволяющего реализовать новые функции, связанные с математической и логической обработкой аналоговых и дискретных сигналов подаваемых на вход устройства. Другие устройства системы АСНОР отличаются наличием ряда параллельно работающих быстродействующих каналов обработки информации (информационные датчики), наличием автоматов синтаксиса и семантики, возможностью задействования аппаратных процессоров для построения информационных датчиков. В работах [13-18] показано, что устройства следует проектировать согласно структурно-информационному методу с задействованием нескольких вычислительных ядер - МК (морфологический, семантический уровни метода) и ПЛИС (синтаксический уровень метода). Приведены примеры программной реализации устройств системы АСНОР и взаимодействия с устройствами верхнего уровня иерархии АСУ-ТП-ГЩУ.

Выводы

1. Эффективность оперирования смысловыми информационными составляющими позволяет широко применять структурно-информационный метод в различных областях электротехники (начиная от исследований, формулирования идеи до конструирования устройств). Результаты исследований показывают, что совершенствование и разработка устройств может исходить из оперирования конечной смысловой информацией о технологическом процессе.

2. Приведены примеры применения структурно-информационного метода для совершенствования «простых» известных устройств, далее по возрастающей к устройствам интеллектуальной системы АСНОР ОУЗ, к интерактивной экспертной системе. Работа системы АСНОР имитирует работу оперативного персонала, который ориентируется, прежде всего, на смысл происходящего процесса. Принятие решения исходя из смысла, в отличие от анализа параметрической информации более устойчиво к различного рода помеховым смысловым ситуациям, недостатку информации, неоднозначности происходящих событий, изменениям в работе распределенных ОУЗ на коротких и длительных интервалах времени.

3. Анализ известных устройств и синтез новых современных устройств для реализации системы АСНОР проведены на основе единого структурно-информационного метода. Анализ отличается простотой и полнотой исследуемых вопросов. Особый практический интерес представляет таблица иерархической систематизации известных устройств.

4. Синтез системы и устройств с требуемыми качественными показателями работы, отличается наглядностью и строгостью получаемых результатов. Реализация этих требований в устройствах согласно структурно-информационному методу изменяет подход к разработке, структурную схему устройства и отношение эксплуатирующих организаций к отдельным устройствам как к элементам, поставляющим и оперирующим смысловой информацией и принимающим решение (в автоматическом режиме) о воздействии на ОУЗ исходя из анализа смысловой информации.

5. Исследования выполнены достаточно полно и хорошо отражают преимущества структурно-информационного метода разработки. Синтезированы алгоритмы работы устройств в САПР, рассчитаны параметры структурной схемы, разработаны печатные платы, проработан конструктив устройства, реализующего способ разрешения конфликта. Устройства реализованы в виде необходимого селективного устройства «У-СП-201» с встроенным цифровым высокочастотным аварийным регистратором «ВРЦ-СП-201», терминала «Т-КНПС-701», имеющего связь с главным щитом управления по локальной сети. Приведены материалы программной реализации новых устройств системы и взаимодействия системы АСНОР с устройствами верхнего уровня иерархии АСУ-ТП-ГЩУ. Программа конфигурации устройств позволяет использовать конструктив устройства для реализации других информационных датчиков, поставляющих информацию для работы различных подсистем общей автоматической системы.

Литература:

1. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд электростанций: Уч. Пособие / В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев.-Донецк: ДонНТУ, 2002, 136 с.
2. Дж Ту,Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов, М:«Мир»,1978.-411 с.
3. ФУ К. Структурные методы в распознавании образов. Москва, 1977.
4. Глазырин В. Е., Купарев М. А. Применение структурных методов распознавания образов для построения дифференциально-фазной защиты // Электро, №3, 2003.– С. 18-21.
5. Никифоров А. П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты // Материалы 10 научно-технической конференции «Проблемы современной электротехники 2010». - Киев, 2010.- С. 100-105.
6. Никифоров А. П. Применение структурно-лингвистического метода для задач, связанных с исследованиями, совершенствованием и преподаванием

релейной защиты энергообъектов // Науч. труды ДонНТУ. Серия: «Электроэнергетика», выпуск 8(140).- Донецк, 2008.- С. 236-240.

7. Никифоров А. П. Выбор между «простыми» и «совершенными» конструктивными решениями, формирующими ОУЗ, структурно-лингвистическим методом // Научные труды Крем. Гос. Политехн. универс. Выпуск 3/2009(56), часть 2.- Кременчуг, 2009.- С. 164-168.

8. Никифоров А.П. Анализ и синтез устройств СП на основе построения иерархической линии «от простого к совершенному» структурно-лингвистическим методом // Научные труды Дон. Нац. Техн. университета. Серия: «Электроэнергетика», Вып. 9(158).- Донецк:«ДонНТУ»,2009.-С.169-174.

9. Никифоров А. П. Применение СЛ и иерархического методов для выбора между «простыми» и «совершенными» устройствами ЦСП // Научные труды Крем. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып.4/2010(63).- Кременчуг, 2010.- С. 19-23.

10. Никифоров А. П. Задачи защиты и управления, решаемые терминалом контура нулевой последовательности сети // Научные труды нац. университета «Львовская политехника». Серия: «Электротехнические системы», №637.- Львов, 2009.- С. 63-67.

11. Обабков В.К., Никифоров А.П. Динамический синтез асимптотически устойчивых систем автокомпенсации емкостных токов в сетях с плунжерным дугогасящим реактором // Сб. научных трудов ЭНФ: Электромеханика.- Донецк: ДонГТУ, 1996, С. 116-119.

12. Обабков В.К., Никифоров А.П. Самоконтроль работоспособности систем автокомпенсации емкостных токов с использованием искусственных возмущений // Бюл. №8 совета по диагностике электрооборудования при Уралэнерго.- Екатеринбург, 1998 г. 4 с.

13. Никифоров А.П. Уточнение сути переходных процессов с помощью высокочастотного регистратора ячейки КРУ // Электротехника. Сб. трудов XV1 международной конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2009.Т.1. - С.283-284.

14. Никифоров А.П., Никифоров П.Р. Определение поврежденного участка объекта защиты и управления в условиях неопределенности // Материалы 17 международной конференции «Автоматика-2010». Харьковский Нац. университет радиоэлектроники. Харьков, 2010.- С.170-172.
15. Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К., Никифоров А.П., Журавлев И.В. Совершенствование низкочастотного селективного алгоритма поиска поврежденного участка сети при замыканиях на землю // Научн. труды Кременч. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 4(63).- Кременчуг, 2010.- С.105-110.
16. Никифоров А.П. Совершенствование среднечастотного селективного алгоритма поиска поврежденного участка сети при замыканиях на землю // Научн. труды Харьк. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 4(63).- Харьков, 2010.- С.105-110.
17. Никифоров А.П. Моделирование устройств в САПР сквозного проектирования на основе структурно-лингвистического метода // Сб. трудов НАН Украины, Институт проблем моделир. в энергетике. Международная конференция «Моделирование-2010».- Киев: 2010. Т.2. - С. 298-307.
18. Никифоров А.П., Галько Р. В., Журавлев И.В. Устранение временного противоречия между работой системы, поддерживающей условия самоликвидации, и селективной защитой от замыканий на землю // Сб. трудов международной конференции «Перспективные инновации в науке, 2010».- Одесса: 2010. Т.6. - С. 84-99.
19. Акимов О. Е. Дискретная математика: логика, группы, графы, М.: Лаборатория Базовых знаний, 2003.-376 с.