

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

КИРИЛЕНКО АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
(АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ)

Специальность 05.14.02 - Электрические станции (электрическая
часть), сети, электроэнергетические
системы и управление ими

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Киев - 1993



Робота виконана в Інституті електродинаміки АН України.

Научний консультант - академик АН України, професор
Стогний Борис Сергєєвич

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Зорин Владлен Володимирович

доктор технічних наук, професор
Жуков-Станіслав Федорович

доктор технічних наук, професор
Кузьмук Валерія Валентинівич

Ведущая організація - ПІ і ННІ "Укренергосетьпроект"
(г. Харків)

Захиста состоится "11" мая 1993 г. в 14 часов на
засіданні спеціалізованого ради Д 016.30.04 по захисті диссер-
тацій при Інституті електродинаміки АН України по адресу:
252680, Київ-57, пр. Перемоги 56.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інститута
електродинаміки АН України.

Автореферат розослан "01" квітня 1993г.

Учений секретарь ученого
спеціалізованого ради
доктор технічних наук

Г. М. ФЕДОРЕНКО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Электроэнергетика в нашей стране принадлежит к числу отраслей народного хозяйства, где автоматизация, а затем компьютеризация развивались достаточно успешно. Однако, сегодня речь идет о переходе энергетики в качественно новое состояние - в энергетику информатизированную, отличающуюся существенно более высокими показателями в отношении качества энергии, производительности труда, экономичности при весьма высокой надежности. Информатизированная энергетика, в частности электроэнергетика - это энергетика с единой общезнергетической информационной средой, информационной инфраструктурой, которая позволяет решать весь комплекс задач, существующих в этой области.

Важным шагом для превращения электроэнергетики в информатизированную явилось создание в нашей стране иерархической автоматизированной системы диспетчерского управления, а также системы противоаварийного управления. Однако, в полной мере проблема информатизации этой области до недавних пор практически не решалась. Основой для превращения энергетики в информатизированную является создание новых подходов и решений к построению иерархической системы управления процессами в электроэнергетических системах (ЭЭС). Это связано с созданием систем с распределенным интеллектом, ориентированных на решение вопросов комплексной автоматизации, в первую очередь, на нижних уровнях иерархии управления. Речь идет об информационно-управляющих системах (ИУС) трансформаторных подстанций и электрических станций с их распределительными устройствами (РУ). Такого рода объекты являются основными источниками информации о параметрах протекающих режимов и узлами приложения управляющих воздействий. Комплексное решение проблемы их автоматизации составляет достаточно сложную задачу. Характерной особенностью этих объектов является необходимость решения задач управления с высоким быстродействием (релейная защита, противоаварийная автоматика). Если минимальный масштаб реального времени, в темпе которого должны решаться задачи, при оперативном и даже автоматическом управлении на более высоких иерархических уровнях управления определяется электромагнитными переходными процессами, то на нижних уровнях - электромагнитными переходными процессами, скорость протекания которых, по крайней мере, на порядок выше. Кроме того, число задач, которые должны решаться такой системой достаточно велико, причем большинство из них должны выполняться в условиях аварийных ситуаций. Исключительно высокие требования предъявляются в отношении надежности соз-

даваемых ИУС рассматриваемых объектов. И, наконец, принимая во внимание, что число только крупных объектов нижнего уровня составляет тысячи, а это требует массового применения средств вычислительной техники, такие системы должны быть достаточно дешевыми.

Следует отметить, что указанные обстоятельства, а также состояние развития средств вычислительной техники не позволяли ранее перейти к решению вопроса создания ИУС, работающих в темпе реального времени на нижних иерархических уровнях ЭЭС. Реальная возможность решения проблемы появилась после создания средств микропроцессорной техники (микропроцессоров, микроЭВМ, а также персональных ЭВМ). Их стоимость, быстродействие, надежность, широкие возможности по разработке на их основе адаптивных систем управления позволили поставить и, в настоящее время, перейти к практической реализации проблемы создания современных ИУС, в первую очередь, систем автоматизации мощных электроэнергетических объектов (ЭЭО) нижнего уровня управления. Такого рода ЭЭО представляют собой мощные трансформаторные подстанции межсистемного и системного значения, а также высоковольтные РУ электрических станций.

Общей чертой наиболее перспективных разработок в этом направлении является создание систем, обеспечивающих реализацию всех основных функций, связанных с управлением, решением задач защиты основного оборудования, противоаварийной автоматики объекта с применением единых или системносовместимых средств вычислительной техники. Следует отметить, что приведенные выше функции являются традиционными для рассматриваемых ЭЭО. Вместе с тем, идея создания интегрированной, объектно-ориентированной системы открывает принципиально новые возможности в решении задач автоматизации ЭЭО как единого целого. Это обусловлено тем, что расширяются объемы технологических задач, решаемых системой, в первую очередь, связанные с диагностированием основного и вспомогательного электротехнического оборудования, повышается надежность системы за счет организации контроля и диагностирования. В такой системе принимаются более обоснованные решения, учитывая появившуюся возможность обработки больших объемов информации, решается задача создания распределенной базы данных (БД), а также передачи информации на верхние иерархические уровни управления и т.п. Особо следует отметить значительно расширяющиеся возможности создания отказоустойчивых систем, решение проблем их развития. Одновременно необходимо решать также более простые производственно-хозяйственные и организационно-технологические задачи. Рассмотрение всего комплекса вопросов, связанных с построением интегрированных ИУС ЭЭО в рамках одной работы вряд ли

возможно. Поэтому, учитывая, что основные решения, определяющие характеристики такого рода систем, закладываются именно на уровне структурного и функционально-логического проектирования, в работе основной упор сделан на системный анализ проблемы создания ИУС ЭЭО.

Таким образом, важная научно-техническая проблема, обобщению и решению которой посвящена настоящая работа, состоит в развитии общей теории и создании методологии исследования интегрированных ИУС мощных ЭЭО; разработке на этой основе методов анализа и проектирования, ориентированных на выбор обоснованных решений с учетом особенностей функционирования таких систем и предъявляемых технических требований, в том числе, по точности и надежности. Заключительными этапами решения проблемы являются создание алгоритмов и методик расчета, обеспечивающих возможность практической реализации предложенных методов, а также использование полученных результатов при создании образцов элементов системы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи: -исследование особенностей функционирования ИУС ЭЭО и разработка методологических положений их анализа на основе системного подхода; -формирование рациональной функциональной структуры ИУС, проведение структурирования данных, опирающегося на определение основных информационных сущностей решаемых технологических задач, а также элементов объекта; -разработка и исследование структурных моделей ИУС ЭЭО, построенных на основе выделения однородных технических требований и состоящих из совокупности типовых элементов; -построение математических моделей элементов аналоговой части первичного измерительного канала (ПИК) ИУС с линейными характеристиками, разработка методов анализа и способов улучшения их точностных характеристик; -оптимизация точностных характеристик ПИК и его элементов, а также создание обобщенного метода анализа линейных систем, ориентированного на выделение ограниченной совокупности типовых вычислительных процедур и применение специальных методов кодирования, обеспечивающих оптимальную организацию вычислительных процедур; -определение основных показателей надежности, разработка методов их поэтапного вычисления с использованием разбиения на типовые блоки; -формализация процедуры проектирования ИУС ЭЭО с учетом требований безотказности, разработка методов, способов и моделей для реализации отдельных ее этапов; -реализация разработанных принципов, методов и способов при создании элементов ИУС ЭЭО.

Методы исследований. В основу исследований положены элементы системного анализа и математического моделирования как средства решения поставленных задач. При этом на различных этапах исследова-

ния, принимая во внимание многообразие решаемых в рамках данной работы задач, использовались различные математические модели, описывающие отдельные свойства системы и построенные с использованием элементов теории сложных систем, теории вероятностей, математической статистики, дифференциального исчисления, теории графов. Для целей принятия решений в работе применялись методы линейного и нелинейного программирования, дискретной оптимизации. Достоверность результатов при этом определяется корректным применением методов исследования, соответствующих решаемой задаче, сопоставлением результатов натурных и макетных экспериментов, положительным опытом использования результатов работы.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Стратегии формирования моделей ИУС и методов их анализа, ориентированные на выделение типовых элементов и вычислительных процедур, обеспечивающих обоснованность и эффективность решений принимаемых при исследовании и проектировании ИУС и их элементов.

2. Синтез, в терминах баз данных, информационной модели ЭЗО, отражающей основные информационные сущности технологических задач, решаемых ИУС, а также элементов объекта.

3. Формирование структурных моделей ИУС ЭЗО, ориентированных на выделение однородных технических требований и учитывающих основные принципы технической реализации интегрированных систем.

4. Детерминированные математические модели элементов аналоговой части первичного измерительного канала ИУС с линейными характеристиками, методы их анализа и способы улучшения точностных характеристик канала.

5. Оптимизация точностных характеристик ПНК на основе обобщенного метода анализа линейных систем.

6. Методика расчета показателей безотказности микропроцессорных ИУС ЭЗО.

7. Формализация процесса проектирования ИУС ЭЗО с учетом требований безотказности, а также отдельные процедуры его реализации. В том числе: оптимального распределения прикладных задач между микроЭВМ; формирования структуры микропроцессорной системы; выбора стратегии организации профилактического обслуживания.

8. Ряд методик повышения безотказности микропроцессорных ИУС, в частности, проектирования оптимальной структуры взаимоконтроля при условии р-диагностируемости; определения множества допустимых неисправностей системы исходя из матрицы синдрома, а также модель определения оптимального сочетания глубины резервирования, периодичности диагностирования и интенсивности восстановления.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что с позиций системного подхода создана методология исследования, позволившая впервые сформулировать и обобщить совокупность задач связанных с анализом и проектированием интегрированных ИУС мощных ЭЭО (трансформаторные подстанции системного и межсистемного значения и распределительные устройства электрических станций), предложить оригинальные математические описания, разработать методы решения с учетом различных, в том числе, информационных, точностных и надежных аспектов функционирования, использующие процедуры типизации и унификации, что отражено следующими конкретными положениями:

1. Разработаны, основанные на едином методологическом подходе, связанном с проведением декомпозиции исследуемых задач, выделением типовых элементов и процедур, способы формирования моделей ИУС и ее элементов, а также методы их анализа. Предложенный подход позволяет исследовать особенности функционирования ИУС ЭЭО в различных аспектах, ориентируясь на три основные категории моделей: функциональную, структурную и параметрическую с учетом различной глубины их представления.

2. На основе изложенного в п. 1, в терминах баз данных, построена оригинальная информационная модель ЭЭО в виде канонической структуры, которая в дальнейшем преобразована в логическую, ориентированную на реляционный тип представления данных. Такая модель адекватно отображает основные информационные сущности элементов ЭЭО и его ИУС, отличается минимальной избыточностью, достаточной гибкостью, универсальностью и ориентирована на решение основных технологических задач.

3. Обоснованы, базирующиеся на выделении однородных технических требований, структурные модели ИУС, определены типовые элементы, предложены структурные схемы и даны рекомендации по их применению с учетом особенностей построения исследуемых ЭЭО.

4. Проведена формализация и предложены решения ряда задач анализа и оптимизации точностных характеристик аналоговых элементов первичного измерительного канала ИУС. Показано, что структура ПИК может быть определена на основе ограниченной совокупности типовых устройств, схемные модели которых описываются линейными уравнениями. Формализована процедура точностной оптимизации канала путем сведения к задаче нелинейного программирования, решение которой ищется в пространстве конструктивно-технологических параметров (КТП) типовых элементов, составляющих ПИК. Установлено, что задача обеспечения точностных характеристик ПИК может быть также решена на основе использования принципа восстановления сигнала. С этой

целью предложен способ формирования структуры корректирующих устройств (КУ), опирающийся на использование типовых элементов, параметры и структуры которых определяются соответствующими элементами, входящими в состав ПИК.

5. С учетом того, что практически все математические модели аналоговых элементов ПИК в различных режимах работы могут быть описаны ограниченной совокупностью вычислительных процедур, разработан специализированный метод последовательностей элементарных функций (ПЭФ), отличающийся от известных универсальностью, простотой, возможностью работы с выражениями в аналитическом виде. Наряду с этим для оптимальной организации вычисления, в том числе, при работе со слабозаполненными матрицами, разработаны специальные методы кодирования для ряда процедур, встречающихся при моделировании аналоговых элементов ПИК, использование которых в процессе вычислений позволяет, по сравнению с известными, значительно сократить число логических операций.

6. Разработана с использованием основных положений теории полумарковских процессов модель функционирования микропроцессорной ИУС ЭЭО различной структуры, при которой система представляется как совокупность типовых функциональных блоков различной степени интеграции, рассматриваемых как простейшие элементы. При этом такая модель, в отличие от известных, позволяет учитывать нестационарность объекта управления, зависимый характер возникающих отказов, наличие явлений сбойного характера, а также недостоверность и неполноту контроля элементов, возможность проведения профилактических мероприятий, различную глубину диагностирования. На основе этой модели создана методика расчета показателей безотказности ИУС.

7. Ориентируясь на разработанную процедуру проектирования ИУС ЭЭО, на уровне типовых функциональных задач и устройств, с учетом требований безотказности, предложены и исследованы модели организации функционирования таких систем, позволявшие целенаправленно осуществлять различного рода мероприятия по повышению отказоустойчивости таких систем в части: -оптимального распределения прикладных задач между микроЭВМ в многомашинной системе с заданной структурой, реализованного на примере микропроцессорной защиты блока генератор-трансформатор; -формирования структур системы по критерию оптимальности вероятностей безотказной работы элементов системы; -выбора оптимального сочетания глубины резервирования, периодичности диагностирования и интенсивности восстановления.

8. В развитие изложенного в п. 7, предложен способ проектирования оптимальной структуры взаимоконтроля микропроцессорных систем,

опирающийся на введенное условие р-диагностируемости каждой микро-ЭВМ, позволяющее проводить такой анализ для нерегулярных, иерархических структур, систем, характеризующихся различной чувствительностью к отказам отдельных элементов и учитывающее влияние организации системы диагностирования на результирующую надежность. Показано, что задача сводится к оптимизационной процедуре нелинейного целочисленного программирования, обеспечивающей выполнение условия р-диагностируемости и, в дальнейшем - определение множества допустимых неисправностей системы исходя из матрицы синдрома, путем нахождения максимального собственного числа и соответствующего собственного вектора.

Практическая ценность научных положений, обоснованных в работе, определяется их направленностью на создание интегрированных микро-процессорных НУС мощных ЭЭО и обеспечивается универсальностью, простотой, достаточно высокой адекватностью создаваемых моделей, а также высокими техническими показателями разрабатываемых элементов НУС. Использование этих положений позволяет: проводить анализ, проектирование и создание элементов и подсистем микропроцессорных НУС, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, в том числе, по информационному обеспечению, точностным характеристикам и показателям безотказности; обеспечить выбор и формирование оптимальных структур, а также работу с базами данных объекта; расширить возможности создания элементов системы, отвечающих заданным требованиям по точности ПИК, при снижении требований к первичным измерительным преобразователям и, как следствие, уменьшению их весогабаритных характеристик; предложить эффективную организацию процедур диагностирования, тестового контроля и профилактического обслуживания.

Реализация работы. Приведенные в диссертации результаты исследований являются составной частью выполнявшихся в институте работ, по которым автор являлся ответственным исполнителем, направленных на решение приоритетных научно-технических проблем в соответствии с планами важнейших работ в области естественных наук по проблеме "Научные основы электрофизики и электроэнергетики" в 1981-1983г.г. (Нивелир) - по постановлению Президиума АН УССР №604 от 25.12.1980г.; в соответствии с общесоюзной программой по решению научно-технических проблем 0.01.0.06 в 1980-1982г.г. (Кросс, - по постановлению ГКНТ СМ СССР №4 от 19.03.1980г.; в соответствии с Государственным планом важнейших работ УССР в 1981-1985г.г. (Кристалл) - по постановлению Госплана УССР №3 от 28.01.1981г.; в соответствии с Государственным планом важнейших работ СССР в 1984-1988г.г. (Регистратор) - по постановлению ГКНТ СМ СССР №232 от 29.05.1984г.; в

соответствии с Государственной (общакадемической) программой фундаментальных исследований "Коренное повышение эффективности энергетических систем" и планом важнейших работ (шифр 1.9.2.2) в 1989-1992г.г. (Базис) - по постановлению Бюро ОФТПЭ АН УССР №12 от 12.12.1988г.; а также использовались при выполнении хозяйственных договоров с энергосистемами Украины (Днепрэнерго, Винницаэнерго, Киевэнерго), Всеукраинским институтом трансформаторостроения (г. Запорожье), НИИ технологии и организации производства (г. Киев), ВГПИ и НИИ "Атомэнергопроект" (г. Москва) и другими организациями. В частности, разработанные в диссертации теоретические положения, методы анализа и проектирования явились основой для: - создания комплекса программ расчета и оптимизации измерительных преобразователей тока (ИПТ), внедренных в ВИТ (г. Запорожье); - разработки методики "Анализ безотказности микропроцессорных систем", утвержденной в качестве стандарта предприятия (СТП 67-38-89); - создание ИПТ с аналоговыми корректирующими устройствами серийно выпускаемых с 1987г. и многофункционального измерительного прибора ЦИЗ-2 - выпускаемого серийно с 1991г. Они использовались, в части выбора технической структуры, оптимизации распределения прикладных функций между микроЭВМ и исследования надежности при: - разработке микропроцессорных защит блока генератор-трансформатор, линии; - создании систем регистрации и анализа событий, внедренных в эксплуатацию на ряде подстанций энергосистем Украины; - разработке информационно-диагностического комплекса серийно выпускаемого с 1992г.

Система регистрации и анализа событий на 330 и измерительные преобразователи тока с аналоговыми корректирующими устройствами отмечены золотой и серебряной медалями ВДНХ СССР (1988г.).

Аппробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 16 всесоюзных конференциях, совещаниях, семинарах, 7 республиканских конференциях, ряде отраслевых совещаний, а также на 8 международных конференциях.

Публикации. По результатам исследований соискателем лично и в соавторстве опубликовано 85 работ, в том числе 5 монографий, 5 принтов ИЗД АН Украины, 36 статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, содержащих 304 страницы машинописного текста, 42 таблицы, 110 рисунков, а также списка литературы из 286 наименований на 16 страницах. Приложение на 218 страницах, выполненное в виде отдельного тома, содержит математические выкладки, алгоритмы, примеры расчета, материалы опытно-промышленного внедрения и экономической эффективности разработок.

Автор выражает глубокую благодарность академику АН Украины Б.С. Стогнию и своим коллегам по работе за постоянную поддержку и внимание; искренне признателен ученым и специалистам Института проблем моделирования в энергетике АН Украины, Киевского и Одесского политехнических институтов, другим коллегам НИИ, ВУЗов и организаций, совместная работа и творческие дискуссии с которыми во многом способствовали выполнению данной диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и методы исследования. На основе проведенного анализа делается вывод о необходимости обобщения и развития теории интегрированных ИУС ЭЭО, решения задач анализа и проектирования с учетом особенностей их функционирования, предъявляемых к ним требований, в том числе, по точности и надежности.

В первой главе, которая носит в значительной мере методологический характер, проведен анализ особенностей функционирования, возникающих задач моделирования, а также формирования информационного обеспечения ИУС мощных ЭЭО.

Эффективность организации управления ЭЭС в значительной степени зависит от решения задач комплексной автоматизации ЭЭО, выступающих как базовый уровень таких систем, обеспечивающий сбор необходимых объемов информации, реализацию функций управления и выработку управляющих воздействий. Электроэнергетические объекты, в этом случае, следует рассматривать, с одной стороны, как элемент системы управления в рамках функционирования ЭЭС, а, с другой - как отдельные системы со своими функциями управления. Объем функций, реализуемых ЭЭО может быть различным и определяется его назначением, уровнем напряжения, количеством присоединений и т.п., однако, представляется удобным выделить типовые функции и рассмотреть обобщенную функциональную структуру ИУС ЭЭО. Совокупность основных функций, реализуемых на ЭЭО, можно разбить на три основные группы (рис. 1), причем их реализация зависит от режима функционирования объекта (нормальный, утяжеленный, послеаварийный, аварийный). Учитывая преимущества средств микропроцессорной техники, такие как: построение систем с распределенным интеллектом, решение задач в темпе реального масштаба времени, организация последовательной передачи информации, обеспечение универсальности за счет гибкого матобеспечения при применении типовых системно-ориентированных технических структур, а также возможности решения проблемы самодиагностирования и автоматической реакции на возникающие дефекты, можно перейти к созданию интегриро-



Рис. 1

ванных НУС ЭЭО. Под интегрированной НУС ЭЭО будем понимать совокупность функциональных систем (ФС), реализующих функции распределенной обработки информации и принятия решения по управлению объектом, при целенаправленном их взаимодействии между собой посредством организации информационного обмена, ориентированного на создание единой БД объекта.

Многообразие реализуемых функций, сложность НУС ЭЭО, неоднородность структурных элементов потребовали при проведении анализа НУС, применения многоуровневой и многоэтапной декомпозиции в горизонтальном и вертикальном срезе, ориентированной на выделение типовых элементов. При этом, в горизонтальном срезе в основу декомпозиции положены три основных аспекта: функциональный (Ф-модель), структурный (технический, S-модель) и параметрический (W-модель). Анализ функциональной структуры ЭЭО связан с определением состава и целей функциональных задач (ФЗ), реализуемых на объекте, а также формированием его информационной модели (ИМ). Решение задач моделирования технической структуры НУС предполагает построение ориентированной сети, задающей распределение операций Ф-модели по элементам технической структуры, а также выбор устройств, в том числе микроЭВМ, способов их соединения и взаимодействия с контролируемыми объектами. Параметрическая модель задает вектор параметров, формируемый на основе ИМ объекта и характеризующий основные состояния и режимы работы системы. Каждая из такого рода моделей расчленяется по вертикали на иерархически упорядоченные части (уровни). При этом глубина декомпозиции на каждом из этапов исследования может меняться, ориентируясь на некоторый базовый уровень.

Рассматривая функции, связанные с реализацией оперативного и автоматического управления ЭЭО, как наиболее сложные, проведена классификация основных источников и приемников информации, видов входной и выходной информации, а также основных, реализуемых при

этом, ФЗ (табл. 1). Все источники и приемники информации отнесены к одной из следующих групп: контролируемый элемент оборудования (Y_1); диспетчер - оператор (Y_2); архив информации (Y_3), а также диспетчерский пункт (ДП) вышестоящего уровня управления (Y_4). Кроме того,

Таблица 1

Функциональная задача (ФЗ)		Информация			
наименование	обознач.	входная	источник	выходная	приемник
Измерение	F_1	АС	Y_1	ТК МД	Y_2 Y_4
Регистрация и сигнализация	F_2	АС, ДС	Y_1	МД ТК	Y_2 Y_4
Управление	F_3	ИС	Y_2	ИС	Y_1
Защита и автоматика	F_4	АС, ДС	Y_1	ИС	Y_1
Регулирование	F_5	ИС	Y_2	ИС	Y_1
Диагностирование	F_6	АС, ДС	Y_1	МД	Y_3
Протоколирование	F_7	МД	Y_3	ТК МД	Y_2 Y_4

выделены основные виды представления информации - аналоговые (АС), дискретные (ДС), инициирующие сигналы (ИС), массивы данных (МД) и твердые копии (ТК).

Накопление и хранение всего многообразия данных о состоянии ЭЭО с целью обеспечения решения параллельно реализуемых ФЗ без соответствующей систематизации (структурирования) не представляется возможным. Тем более, что одним из основных для таких систем является условие независимости формируемой базы данных (БД) объекта от прикладных задач. В основу такого структурирования положено трехуровневое представление данных в виде канонической (КС), логической (ЛС) и физической структур (ФС). Процесс проектирования ИМ начинается с установления наиболее устойчивых сущностей (предметный аспект), определяющих ЭЭО, формирования на этой основе множества объектов (Е), характеризующихся набором свойств (Р) и находящихся в отношениях (R), определяемых на множествах $R(E)$ и $R(EP)$. В качестве составляющих множества Е для исследуемых ЭЭО используются элементы E_1 , задающие компоненты основного электроэнергетического оборудования (ЭО), цепи схем соединения РУ, элементы собственных нужд объекта, элементы ИУС, а также характеристики основных режимов работы ЭЭО. Ориентируясь на E_1 , предложены наборы ключевых элементов и атрибутов, построены базовые отношения. В конечном итоге, формирование результирующей канонической структуры сведено к задаче последовательного объединения полученных локальных представлений отдельных элементов в глобальное описание с одновременным устранением дубли-

рования. Такая структура, представленная в виде ориентированного графа, обладает минимально допустимым по условию идентификации числом вершин и ребер и выступает как базис для формирования данных в виде ЛС.

Процесс преобразования КС в ЛС сведен к пошаговой реструктуризации КС, обеспечивающей формирование ряда подмножеств, каждое из которых описывает один из элементов ЭЭО (линии, силовые трансформаторы, компенсаторы, устройства защиты и автоматики и т.п.), а также определение связей между ними. В качестве основы формирования ЛС используется реляционная модель, поскольку она максимально соответствует предъявляемым требованиям, в первую очередь, независимости ФЗ и данных. Построенная ЛС позволяет перейти к решению ФЗ, имея в виду создание средств манипулирования данными, обеспечивающих реализацию всех видов запросов с целью формирования требуемых сочетаний данных. В частности, одной из таких задач, связанной с реализацией функций оперативно-диспетчерского управления, может быть задача защиты от неправильных действий оперативного персонала при переключениях. Решение такой задачи ориентировано на организацию запросов о состоянии оборудования, формирование и проверку условий блокировок и выдачу коммутационных команд.

Во второй главе на основе анализа требований, предъявляемых к ФЗ с учетом особенностей построенной ИМ ЭЭО, получены решения по формированию технической структуры ИУС. Определены типовые элементы и предложено ряд структурных схем построения ИУС.

Приведенная выше декомпозиция ФЗ может быть продолжена в соответствии с реализацией по отдельным группам оборудования ЭЭО $F_i = \bigcup_j F_{ij}$ или же отдельным его элементам $F_{ij} = \bigcup_r F_{ijr}$. Такое деление позволяет, например, связать массив F_{ij} и вектор требований f_{ij} , который может задаваться по группе ЭЭО. С другой стороны, таким образом осуществляется объединение однородных ФЗ в рамках одной ФС в функциональные группы задач (ФГЗ) $F_g = \bigcup_r F_{ijr}$. Эта задача возникает в связи с необходимостью оптимизации структуры ИУС ЭЭО по условию обеспечения параллельного выполнения различных ФЗ с учетом требований по быстродействию, точности и надежности.

Для реализации такого подхода задается массив требований по каждой задаче, относящейся к группе элементов либо элементам оборудования $F_{ij} = \{T_{ij}, V_{ij}, K_{ij}, G_{ij}\}$, где T_{ij} - массив временных ограничений; V_{ij} - массив требований по объемам данных; K_{ij} - массив требований к надежности и достоверности; G_{ij} - массив требований к точности. В общем случае, ИУС ЭЭО состоит из множества структурных элементов z_n . Каждая ФЗ F_{ij} реализуется совокупностью таких элемен-

тов, при этом соответствующий вектор требований f_{ij} должен быть отражен на множестве S_{ij} и таким образом может быть построен вектор $f_{ij} \leq f_{ij} = \{T_{ij}, \leq T_{ij}; V_{ij}, \leq V_{ij}; K_{ij}, \leq K_{ij}; G_{ij}, \leq G_{ij}\}$. Тогда совокупность требований к S_{ij} определяется как $f_{ij} = \bigcup_j f_{ij}$. В тоже время объединение частных требований по каждой задаче, относящейся к элементу оборудования, дает вектор требований частной задачи $f_{ij} = \bigcup_j f_{ij}$. В табл. 2 приведена классификация ФГЗ, построенная с использованием приведенных выше соотношений.

Таблица 2

№ ФГЗ	Функциональная группа задач	Решаемые ФЗ	Погрешн. Δ	Разреш. способ.	Измеряем. величины
1	РЗА	$F_2; F_4; F_7$	(5-10)	(1-2)мс	$i(t); u(t)$
2	Оперативное управление	$F_2; F_3; F_5; F_6; F_7$	(5-10)	~ 0 с	$U; I; P; Q; \cos\varphi; f$
3	Измерение (коммер)	$F_1; F_2; F_7$	(0,2-0,1)	>1 с	W
4	Регистрация нормальные режимы аварийные режимы	$F_2; F_7$	$\frac{(1-3)}{(5-10)}$	$\frac{\sim 10 \text{ с}}{(1-2) \text{ мс}}$	$U; I; P; Q; \cos\varphi; f; i(t); u(t)$
5	Прием/перед. на ДП оперативное упр. противоавар. упр.	$F_2; F_7$	$\frac{(1-3)}{5}$	$\frac{\sim 10 \text{ с}}{(1-2) \text{ мс}}$	$U; I; P; Q; \cos\varphi; f; i(t); u(t)$

Формирование ФГЗ позволяет перейти к построению ФС, обеспечивающих их техническую реализацию. Ориентируясь на изложенные ранее общие принципы декомпозиции, такие ФС могут быть представлены в виде совокупности типовых блоков, модулей, устройств или элементов в зависимости от глубины декомпозиции. На первом уровне декомпозиции $ФС = \{ВБ, БС, БСО\}$, где ВБ - вычислительный блок, БС - блок сопряжения и БСО - блок связи с объектом. Каждый из таких блоков, в свою очередь, представляет собой совокупность отдельных модулей БСО = {МОД, МПАС, МПДС}; ВБ = {МОД, МВУ}, где МОД - модуль обработки данных; МПАС - модуль передачи аналоговых, а МПДС - соответственно дискретных сигналов; МВУ - модуль взаимодействия с внешними устройствами. Аналогично может быть проведена декомпозиция на уровне функциональных устройств (ФУ). При этом выделяются процессорные устройства (ПР), оперативные (ОЗУ) и постоянные запоминающие устройства (ПЗУ), различного рода интерфейсы связи (ИС), каналы связи (КС), внешние устройства (ВУ). В частности, МПАС = {УПС, ПИК}, где УПС - устройство преобразования сигналов, а ПИК - первичный измерительный канал. Переходя к уровню отдельных элементов, отметим, что обычно он используется как базовый. Например, ПИК = {ИПТ(Н), ПП, ФНЧ, УВХ}, где ИПТ(Н) - измерительные преобразователи тока (напряжения), ПП - промежуточные преобразователи, ФНЧ - фильтры низких частот, УВХ - устройство выработки и хранения.

Рассмотрение особенностей построения ИУС ЭЭО, использование основных положений моделирования такого рода объектов, ориентированных на применение типовых элементов, а также распределенной БД как основного элемента интеграции ИУС, позволило провести классификацию ряда принципов, обеспечивающих построение технической структуры ИУС, ориентированной на создание интегрированных систем. При этом в качестве главного принципа использовалась интегрированность, основными являются нерархичность и универсальность связей, рабочими - модульность, многофункциональность и перестраиваемость. Основными признаками, определяющими такого рода системы, являются: магистральность, мультимплексность, процессорность, функциональная законченность и программируемость.

Формирование структурной модели ИУС, ориентированной на выделение ФГЗ, связанных с рассмотрением перечня контролируемых величин, совокупности требований по точности решения ФЗ, величине разрешающей способности, надежности позволило говорить о создании технической структуры ИУС на базе трех основных ФС. Такие системы могут строиться практически раздельно, что повышает их гибкость и живучесть. В тоже время введение отдельных протоколов обеспечивает организацию обмена информацией между системами.

Наряду с декомпозицией в горизонтальном срезе, реализация ФЗ предполагает вертикальную декомпозицию, которая связана с выделением отдельных функциональных процессов (ФП). Такой подход позволяет определить некоторые общие последовательности, которые можно описать как типовые ФП. При этом использование системных адресов обеспечивает однотипность обработки информации, а предложенные ранее логические описания - независимость построения ФП от технических средств каждой ФС. Особенностью ИУС ЭЭО является то, что в них совместно с типовыми ФП, характерными для различного рода ИУС технологических процессов, используются специализированные типовые ФП обработки информации, связанные с особенностями функционирования таких систем в условиях высоковольтных ЭЭО и, в частности, направленные на выполнение требований по изоляционной стойкости и помехозащищенности.

Если же говорить о распределении вычислительных средств по уровням ИУС, то следует отметить, что для такого рода систем характерными являются двух- и трехуровневые структуры. Причем применение тех или других определяется объемами, обрабатываемых на объекте данных и зависит от мощности объекта, количества присоединений, уровня напряжений и т.п. При этом ФП распределяются в соответствии с требованиями организации получения и обработки необходимой инфор-

мации для решения соответствующих ФЗ, а также степень связности рассматриваемого ФП с другими. В результате распределения ФЗ, минимизации требуемых объемов технических, в том числе, вычислительных ресурсов, а также разделения ФП, связанных с формированием, ведением и преобразованием информационной модели объекта, построена обобщенная двухуровневая функциональная структура ИУС ЭЗО (рис. 2).

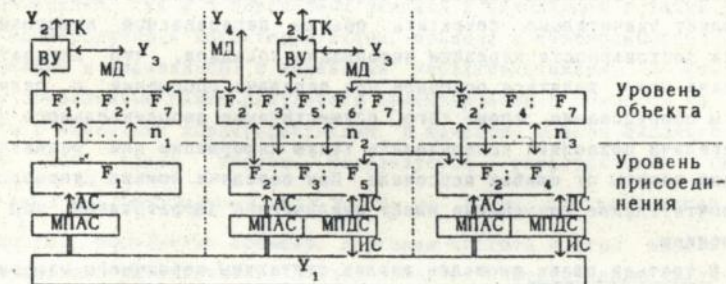


Рис. 2.

Проведенные исследования позволили предложить три основных варианта компоновки ИУС на ЭЗО. При этом, первый рассчитан на традиционный вариант организации передачи (параллельная передача) аналоговых сигналов между ЭО и диспетчерским пунктом (ДП) объекта. Второй - предполагает преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму непосредственно в ячейке РУ, а третий, в дополнение ко второму, предполагает в ячейке также и обработку информации. Сравнивая предложенные варианты следует отметить, что традиционный вариант 1 имеет широкое применение, в первую очередь, на реконструируемых объектах. Варианты 1 и 2 позволяют достаточно просто организовать обмен данными на уровне модуля обработки информации присоединения (МОИП), что облегчает реализацию функций релейной защиты и автоматики (РЗА) общеобъектового оборудования. В свою очередь, вариант 3 требует минимальных затрат на организацию каналов связи, кроме того, он максимально ориентирован на переход к использованию локальных сетей передачи данных. Хотя для реализации функций РЗ общеобъектового оборудования возникает проблема организации дополнительных каналов связи.

На основе исследования многообразия ИУС ЭЗО предложено четыре типовые структуры таких систем, ориентированные на ЭЗО различной мощности, имеющих разное число присоединений и уровней напряжения. Показано, что они являются совместимыми, допускают проведение поэтапного ввода ИУС на объекте.

Приведенные результаты позволили перейти к

ской модели. В частности, проведено исследование объемов информационных потоков, возникающих в ИУС в различных режимах работы и связанных с реализацией ФГЗ с учетом определенных ранее источников/приемников информации. При этом в качестве основного используется вариант последовательной передачи информации. Определяющим, при этом, как показали расчеты, является аварийный режим работы ЭЗО. Переход к организации обработки информации непосредственно в ячейке позволяет значительно сократить объемы передаваемой информации. Оценка достоверности передачи информации показала, что двукратная передача может являться основной при передаче сообщений о режимах работы оборудования, кроме того, осуществление дополнительного цикла передачи позволяет использовать такую информацию для реализации функций защиты от ошибок персонала. При передаче команд управления предпочтительное применение имеет циклический 16-разрядный код со сравнением.

В третьей главе проведен анализ структуры первичного измерительного канала и определены основные входящие в его состав устройства. Рассмотрены требования, предъявляемые к точностным характеристикам ПИК и получена совокупность соотношений для их вычисления, ориентированная на решение задач анализа и проектирования. Особое внимание уделено построению схемных моделей устройств, образующих ПИК и рассмотрению методов повышения точностных характеристик канала.

С функциональной точки зрения ПИК, как модуль входящий в состав БСО, обеспечивает реализацию совокупности процессов, связанных с нормированием (масштабированием) уровня сигналов, поступающих от контролируемого элемента ЭЗО: операторным (динамическим) их преобразованием; изменением (снижением) потенциала сигналов и гальванической развязкой первичных и вторичных цепей; выделением информативных составляющих; преобразованием характера изменения сигнала во времени и, наконец, согласованием выходных и входных характеристик канала и последующих устройств ФС. При этом первый, третий и четвертый процессы преобразования отнесены к основным, что связано с ориентацией при построении ИУС ЭЗО на, так называемые, быстродействующие ПИК, обеспечивающие получение мгновенных значений сигнала. При этом такой канал может быть построен с использованием ряда типовых устройств: измерительные преобразователи (ИП), представляющие собой измерительные преобразователи тока и напряжения, а также промежуточные преобразователи и ряд функциональных устройств (ФНЧ, корректирующие устройства (КУ), (УВХ)).

Проведенная классификация ПИК показала, что многоканальные системы с последовательным преобразованием сигнала находят в основ-

ном применение на реконструируемых объектах. В то же время для вновь строящихся объектов предпочтение, с учетом требований надежности, отдается многоканальным системам с параллельным преобразованием сигнала.

Разработка ПНК, предназначенных для работы в комплексе с микропроцессорными ИУС, обеспечивающими функционирование ЭЗО как в установившихся, так и в переходных режимах и обладающих в таких режимах нормированными характеристиками, привела к необходимости использования в каналах ИПТ с линейными характеристиками. В связи с этим приведенные далее результаты ориентированы в основном на элементы с линейными характеристиками. В качестве модели входного сигнала для таких систем используется универсальный сигнал

$$Y_e(t) = \sum_{k=1}^n Y_k e^{-t/T_k} \sin(\omega_k t + \alpha_k), \text{ где } Y_k, T_k, \omega_k \text{ и } \alpha_k \text{ соответственно}$$

амплитуда, постоянная времени, круговая частота и угол сдвига фаз k -ой составляющей. Качество воспроизведения информативных составляющих входного сигнала в канале обычно характеризуется степенью приближения его реальных точностных характеристик $G(u, X)$ к идеальным зависимостям $G^*(u)$. Причем такое сравнение выполняется либо в некоторой точке, либо на некотором интервале параметра u , а вычисление $G(u, X)$ осуществляется при заданных значениях массива основных независимых параметров X ($x_i, i = \overline{1, n}$) элементов исследуемого ПНК. В частности, для ИПТ в качестве таких параметров используются КТП. Переход к схемным моделям позволяет свести достаточно большое число реальных устройств ПНК к сравнительно небольшому числу типовых блоков, различные схемы соединения которых отражают с необходимой степенью точности цепи ПНК. Синтез модели канала осуществляется путем формирования и последующей стыковки схемных моделей отдельных типовых блоков. Определена совокупность таких типовых блоков и приведены функциональные выражения (ФВ), позволяющие определить параметры их схемных моделей через КТП.

В дальнейшем, ориентируясь на задачу проектирования, осуществляется формализация требований технического задания, учитывающего: совокупность ограничений на структуру и параметры проектируемого канала, путем определения области существования КТП R_f ; - условия его работы, а также ограничения, накладываемые на основные показатели качества $K_i (i = \overline{1, n_k})$, которые обычно задаются в виде совокупности функциональных ограничений (ФО) - $B_j(u, X) \geq 0, j = \overline{1, n_b}$, определяемых в пространстве независимой переменной u . В частности, такого рода ограничения определяют вид кривой, ограничивающей погрешность канала в рабочем диапазоне частот, характер переходных процессов, а

также позволяет учесть технологические особенности его построения.

Обеспечение высоких требований к точностным характеристикам ПИК, представляет собой достаточно сложную задачу. Причем, особые сложности вызывает обеспечение нормированных характеристик канала в динамических режимах работы, что особенно актуально для ФС, реализующих ФЭ РЗА. Одним из основных вариантов повышения точностных характеристик канала является использование КУ, подключенного к выходным цепям ИП. В основу построения КУ заложена идея восстановления сигнала, связанная с реализацией соотношения $y_c(p) = F_{ип}^{-1}(p) * y_*(p)$. В качестве исходной информации для определения входного сигнала $y_*(p)$ служит выходной сигнал ИП - $y_c(p)$ и его передаточная функция (ПФ) - $F_{ип}(p)$. Решение такого рода уравнений относится к классу некорректно поставленных задач. Построение устойчивого приближенного решения сводится к использованию предположения о существовании в спектре входного сигнала области, в которой значение спектральной плотности помехи превосходит по величине значение спектральной плотности информативной части. Следовательно, общая идея восстановления направлена на уменьшение или устранение вклада таких спектральных компонентов в искомое решение.

Как показал спектральный анализ сигналов в ЭЭС и некоторых электротехнических установках, измеряемые сигналы имеют ограниченный спектр частот, причем верхняя граница не превышает 10кГц, что позволяет при исследовании ПИК ориентироваться на традиционные схемные модели. Таким образом, $F_{ку}(p) = k_{ку} F_{ип}^{-1}(p)$, где $k_{ку}$ - масштабный коэффициент преобразования, ориентируясь на каскадное соединение типовых устройств, построенный с использованием приведенных выкладок ПИК представляет собой безинерционный масштабный преобразователь.

Проведены исследования, позволившие определить обобщенные схемы построения канала с улучшенными точностными характеристиками и получить расчетные выражения для определения параметров корректирующих устройств. Для ПИК сложной структуры разработан способ формирования структуры КУ, ориентированный на предложенные в работе типовые блоки отдельных устройств канала. При этом каждому типовому элементу ПИК могут быть подобраны из соответствующего набора типовые элементы КУ, обеспечивающие восстановление входного сигнала в канале. Показано, что применение КУ позволяет значительно (на порядок и более) уменьшить погрешность ПИК.

Результатом выполненных исследований явилось создание ИПТ с аналоговыми КУ, предназначенных для работы с нормированными характеристиками в динамических режимах, а также многофункционального

измерительного прибора с метрологически аттестованным каналом, которые в настоящее время выпускаются серийно.

В четвертой главе исследуются вопросы оптимальной организации математического моделирования аналоговых устройств ПНК. Рассмотрены возникающие при этом основные совокупности математических задач и вычислительные процедуры их решения, выделены типовые и предложены новые методы решения, ориентированные на применение специальных кодов.

Рассмотрение процессов анализа и оптимизации устройств ПНК показывает, что они представляют собой ряд повторяющихся типовых математических задач. Для их решения разработан метод создания программных средств, отличающийся от традиционных простотой общения с ЭВМ, возможностью использования ранее накопленных знаний и пополнения их новыми, способностью оптимальным образом организовать вычислительные процедуры. Такие средства позволяют значительно повысить эффективность моделирования за счет разработки процедур, общих для многих решаемых задач. Сущность предложенного метода сводится к выделению при решении возникающих математических задач типовых вычислительных процедур (табл. 3). Порядок использования процедур при вы-

Таблица 3

Математическая задача	Вычислительная процедура							
	Представление ФЗ в виде ПЗФ	Сведение условия к безусловной оптимизации	Сведение СДУ к САУ	Получение ПЗФ для производных	Вычисление ФЗ по ПЗФ	Вычисление производной по ПЗФ	Решение СЛАУ (вычисление схемных характеристик)	Обновление значений независимых переменных
Вычисление по формуле	1	-	-	-	П	-	-	-
Вычисл. знач производной	1	-	-	2	-	П	-	-
Решение САУ	1	-	-	2	3, ..., П	4, 7, ...	5, 8, ...	6, 9, ...
Решение СДУ	1	-	2	3	4, ..., П	5, 8, ...	6, 9, ...	7, 10, ...
Безусловная оптимизация	1	-	-	2	П	3, 6, ...	4, 7, ...	5, 8, ...
Условная оптимизация	1	2	-	3	П	4, 7, ...	5, 8, ...	6, 9, ...
Оптимиз. с перем. параметрами	1	2	-	3	П	4, 7, ...	5, 8, ...	6, 9, ...
Оптимиз. во времени области	1	2	3	4	П	5, 8, ...	6, 9, ...	7, 10, ...

П-последняя процедура; числит.-последов. при оптим. с использ. производ. знамен.-последоват. при оптим. без исп. производ.

полнении конкретной математической задачи определены цифрами в соответствующей строке таблицы. В табл. 3 результаты приведены для общего случая, связанного с решением систем алгебраических (САУ) и дифференциальных уравнений (СДУ), хотя при расчете ПНК нас интересует только их линейная постановка, т.е. решение СЛАУ и СЛДУ.

Реализация каждой математической задачи предполагает применение ряда специальных кодов, обеспечивающих автоматизацию процесса формирования математических моделей, их упорядочение и оптимальную организацию вычислительных процедур.

Как уже было показано выше, ПИК в общем случае формируется из набора типовых элементарных блоков. Таким блокам присваиваются кодовые номера, которые однозначно связаны с их схемными моделями, а также с наборами ФВ, позволяющих определить параметры таких моделей через исходные КТП. Любое ФВ можно представить через ПЭФ, каждая из которых является элементом множества элементарных функций (ЭФ). Элементарная функция Э_{ij} - это функция одного 0_{ij} или двух 0_{ij} и 0_{2j} операндов, т.е. Э_{ij} = Э_{ij}(0_{ij}) или Э_{ij} = Э_{ij}(0_{ij}, 0_{2j}). К множеству ЭФ могут применяться различные типы операций, например, суммирования (1), умножения (2), деления (3), возведения в степень (4) и т.д. Операндами j-й ЭФ могут быть константы С, независимые переменные X, другие ЭФ Э_k с индексом k > j, а также другие ФВ, которые, соответственно также кодируются - 1; 2; 3; 4. С учетом сказанного, ФВ Ф₁ представляются в виде Ф₁ = Э₁₁(0₁₁, 0₁₂); Э₁₂ = Э₁₂(0₂₁, 0₂₂); Э_{1j} = Э_{1j}(0_{j1}, 0_{j2}); ...; Э_{1n} = Э_{1n}(0_{n1}, 0_{n2}), где любая из операндов 0_{ij}, 0_{j2} (j=1, K₃) может быть либо С либо X либо Э_k (k=j+1, K₃), либо Ф_k (k=1, i-1). Например, функция Ф₅ = C₇X₄ + C₇ / [X₂(Ф₂ + C₂)] в виде ПЭФ и кодов запишется следующим образом: Ф₅ = Э_{5,3} + Э_{5,2} - {1, 3, 2, 3, 3} → Э_{5,2} = C₇X₄ - {2, 1, 7, 2, 4} → Э_{5,3} = X₇ - {4, 2, 7, 3, 4} → Э_{5,1} = C₁ / Э_{5,6} - {3, 1, 1, 3, 5} → Э_{5,5} = X₂ Э_{5,6} - {2, 2, 2, 3, 6} → Э_{5,6} = Ф₂ + C₂ - {1, 4, 2, 1, 2}. С целью реализации приведенных в табл. 3 процедур и получения описаний в виде ПЭФ созданы средства, позволяющие автоматизировать процесс разложения любого ФВ.

Процедура кодирования реализуется также при проведении классификации объектов исследования, которые делятся на две группы. В первую включаются объекты, математические модели которых описываются множествами ФВ либо системами уравнений, заданными аналитически. При этом указываются коды семантического атрибута каждого введенного ФВ, отражающего его тип. Ко второй относятся объекты типа "сетей" (схем), отличительной особенностью которых является то, что они состоят из объектов первой группы, подключенных к двум или нескольким узлам. Для узлов справедливо уравнение баланса. Левые части этих уравнений представляют собой сумму слагаемых, каждое из которых является вкладом одного из объектов из числа подключенных к данному узлу. Для объектов этой группы осуществляется ввод информации о топологии схемной модели, в частности, проводится нумерация узлов схемы и узлов подключения.

Что касается задания вида решаемой математической задачи, то оно осуществляется через соответствующие "меню". При этом, если математическая постановка задач анализа не вызывает особых вопросов, то формализация задачи оптимизации ПИК следует из общей постановки задачи его проектирования: при известной структуре канала определить значение параметров, при которых наилучшим образом будет осуществляться выполнение требований к его характеристикам, в первую очередь, к точностным. В вычислительном плане решение этой задачи сводится к задаче нелинейного программирования: найти вектор X^* значений x_i^* независимых параметров $x_i (i=\overline{1, n})$, чтобы $\Phi(u, X^*) = \min \Phi(u, X)$ при условии $X \in R_f(X)$; $B_j(u, X) = 0, j=\overline{1, p}$, где $\Phi(u, X)$ - целевая функция (ЦФ), построенная на основе показателей качества K .

Принимая во внимание, что при решении задач анализа и оптимизации использовались методы, ориентированные на решение систем алгебраических и дифференциальных уравнений, то очевидно, что для реализации такого рода вычислительных процедур также будут использованы описанные выше коды. Формирование СЛАУ осуществляется в узловом однородном координатном базисе, а матрицы коэффициентов находятся на основе логических правил учета отдельных компонент исследуемых схемных моделей. Для решения СЛАУ используется метод LU-разложения, что объясняется его эффективностью при решении систем со многими различными правыми частями. Обычно к такой задаче сводится анализ чувствительности.

Минимизировать число арифметических операций при решении разреженных СЛАУ удастся, если предварительно упорядочить уравнения системы. В отличие от известных, задача упорядочения решается перед формированием матрицы коэффициентов СЛАУ путем анализа структуры схемной модели и с учетом правил преобразования матрицы в процессе решения СЛАУ. Рассматривая расчетную схему как совокупность элементов, в число которых входят компоненты и узлы, множество таких компонентов и узлов схемной модели можно разделить на группы. Признаком объединения различных компонентов в группу служит тождественность структур их подсистем уравнений. При этом подсистема уравнений любого компонента схемы вырождается в одно компонентное уравнение. Уравнение узлов представляет собой сумму некоторых функций, каждая из которых является функцией только переменных данного узла, собственных переменных какого-либо одного компонента, подключенного к нему, и переменных второго узла, к которому подключен указанный компонент. В дальнейшем формируются подсистемы уравнений каждого элемента схемы. При этом подсистема уравнений любого компонента схемы связана только с подсистемами узлов, к которым он подключен.

Решение задачи упорядочения подсистем уравнений (учет блочной разреженности) сводится к формированию списка, задающего индекс группы элементов, объединенных тождественностью структур, описывающих их уравнений, к которой относится каждый конкретный элемент схемы, а также индекса-номера элемента в группе. При этом порядок следования подсистем уравнений определен из условия оптимальности формирования информационного обеспечения, отражающего структуру расчетной схемы исследуемого объекта, а также удобства представления блочной структуры матрицы собственных коэффициентов СЛАУ.

В дальнейшем при реализации процедур вычисления ЦФ и ФО, непосредственно связанных с решением СЛАУ, описывающих схемные модели ПИК, предлагается проведение специального кодирования полученной выше матрицы собственных коэффициентов СЛАУ. Использование такого кодирования, в отличие от известных методов, позволяет практически полностью исключить логические операции.

Кодирование, кроме того, используется при корректировке значений переменных. Поскольку корректировка значений вектора независимых переменных $X^{(1)}$ осуществляется путем алгебраического суммирования его текущего значения и соответствующей поправки, то коды для выполнения этой процедуры включают адреса памяти, используемые для хранения значений переменных и поправок. Аналогично формируются коды для организации пересылки полученных значений $X^{(1)}$ в соответствующие ФВ. Для хранения значений элементов ФВ используются резервированные места в памяти. Следовательно, для пересылки полученных значений $X^{(1)}$ из одного места памяти в другое достаточно сформировать коды, представляющие соответствующие пары адресов.

Таким образом, поскольку формирование и применение кодов позволяет повысить эффективность процедур решения на ЭВМ задач математического моделирования и оптимизации, то их использование следует рассматривать как один из возможных способов оптимальной организации вычисления при разработке программного обеспечения для анализа и оптимизации аналоговых элементов сложных систем.

В пятой главе проведено исследование особенностей структуры и элементной базы ИУС ЭЭО с точки зрения их надежности. Предложены методы оценки показателей безотказности, ориентированные на использование аппарата полумарковских процессов. Разработана методика расчета показателей надежности ИУС ЭЭО.

Микропроцессорные ИУС мощных ЭЭО относятся к классу высоконадежных систем, рассчитанных на длительное функционирование, в течение которого возможны многократные сбои, отказы, восстановления и замены практически всех элементов системы. Программные и аппаратные

компоненты системы подвержены случайным отказам и принимаются независимыми. При расчете надежности ИУС или составляющих ее ФС, контролируемый объект - контролирующее устройство рассматривается как единая система. Наличие в составе ИУС ЭЭО систем РЗА, функционирующих в режиме длительного ожидания прихода дискретных случайных требований на срабатывание и несрабатывание, требует обеспечить не только необходимую степень надежности срабатывания при возникновении аварийных ситуаций в защищаемой зоне, но и высокую надежность несрабатывания системы при возникновении аварийных ситуаций вне зоны, а также отсутствие ложных срабатываний в нормальных режимах работы.

Применение аппарата полумарковских процессов для математического моделирования микропроцессорных ИУС ЭЭО позволяет учесть зависимый характер потока отказов системы, нестационарность потока аварийных событий на ЭЭО, а также детерминированный процесс потока профилактических проверок. При расчете надежности микропроцессорных ИУС ЭЭО вводится ряд допущений. Отказы элементов системы обнаруживаются немедленно по их возникновению благодаря развитым средствам контроля и диагностирования. Отказы отдельных составляющих системы являются независимыми. При одновременном отказе нескольких элементов их ремонт осуществляется последовательно. Время восстановления определяется как сумма времен с момента обнаружения отказа, ожидания ремонтной бригады, исследования неисправности, а также восстановления или замены элемента до окончательного его введения в работу. При этом такой элемент функционирует как "новый" с тем же законом распределения времени возникновения отказов.

Для оценки надежности аппаратной части ИУС ЭЭО используется совокупность показателей, связанная с оценкой: вероятности безотказной работы в течение времени t ; средней наработки между отказами; параметра потока отказов; коэффициента готовности; коэффициента оперативной готовности в течение времени t ; коэффициента планируемого применения; коэффициента технического использования и др. Если перейти к оценке надежности функционирования ИУС, то она определяется следующими показателями: коэффициент неготовности срабатывания в момент времени t ; коэффициент неготовности несрабатывания; средний параметр потока ложных срабатываний; процент правильных действий системы; вероятность безотказного срабатывания; вероятность отказа функционирования системы и др.

Ориентируясь на проведенную выше декомпозицию технической структуры ИУС, на рис. 3 приведена методика расчета ее надежности. Процедура расчета надежности ИУС ЭЭО или его отдельных ФС представляет

собой последовательный процесс ориентированный на выделение типовых элементов (устройств, модулей, блоков), оценку надежности каждого из них и, в конечном итоге, определение надежности типовых блоков. При этом в качестве базового используется уровень элементов и, в частности, вводится понятие "элементарная машина" - ЭМ = {ПР, ЗУ, ИП, ПО, ТО}, где, наряду с определенными ранее, используются ИП - источник питания; ПО - программное обеспечение; ТО - стратегия технического обслуживания. Следует отметить, что в зависимости от условий задачи глубина декомпозиции может меняться.

МОД	Определение безотказной и бессбойной работы ПР с учетом профилактических проверок
	Расчет параметров потоков отказов и восстановл. ОЗУ и ПЗУ
	Расчет показателей надежности совокупности ПР, ЗУ, ИП
	Оценка влияния программного обеспечения на надежность ЭМ
БСО	Расчет параметров потоков отказов и восстановл. МПАС, МПДС
	Определение параметров безотказности группы: МОД при условии возможности их условного резервирования
	Вычисление параметров потоков отказов и восстановления БСО
ВБ	Расчет параметров потоков отказов и восстановлений ЛС
	Определение показателей надежности множества ВУ
	Вычисление параметров потоков отказов и восстановлений ВБ
	Определение надежности группы БСО, подключенных к каждому ВБ с учетом возможности резервирования отдельных БСО
	Расчет параметров потоков отказов и восстановлений совокупности ВБ и группы соответствующих БСО
	Вычисление аппаратной надежности ИУС при учете организации связей и возможности реконфигурации системы
	Уточнение показателей аппаратной надежности коэффициентами, характеризующими качество проектирования ИУС и условиями ее эксплуатации
	Определение функциональной надежности ИУС исходя из особенностей функционирования наблюдаемого объекта
	Оценка влияния человека-оператора на функционирование ИУС

Рис. 3

Принимаем, что время безотказной работы ПР, в общем случае, описывается произвольным распределением $P\{\alpha < t\} = F_0(t)$. Для описания потока отказов сбойного характера также воспользуемся произвольным распределением $P\{\beta < t\} = G_0(t)$. Хотя в большинстве случаев этот поток можно считать простейшим. Функции распределения времен восстановления после отказа α_1 и сбоя β_1 в сильной степени зависят от квалификации ремонтной бригады, времени суток возникновения отказа, вида неисправности, обеспеченности сменными модулями и т.п. и опи-

связываются распределением Эрланга второго порядка $P\{\alpha_1 < t\} = F_1(t) = 1 - (1 + 2\alpha_1 t) \cdot \exp(-2\alpha_1 t)$; $P\{\beta_1 < t\} = G_1(t) = 1 - (1 + 2\beta_1 t) \exp(-2\beta_1 t)$. Стратегии профилактического обслуживания, отличающиеся выбором момента проведения очередного обслуживания, описываются экспоненциальным, Вейбулловским или каким-либо усеченным распределением $P\{\tau_0 < t\} = H_0(t)$. Длительность профилактики τ_1 , $P\{\tau_1 < t\} = H_1(t)$, представляется, в общем случае, экспоненциальным или регулярным распределением. В дальнейшем, если по точности расчета допускается использование средних значения показателей надежности для упрощения расчета применяется процедура фазового укрупнения пространства состояний. Численные характеристики наработки между отказами и времени восстановления ОЗУ и ПЗУ определяются на основе расчета для каждого вида ЗУ и, в конечном итоге, процесс их функционирования представляется укрупненно в виде простого элемента с параметром потока отказов b_0 и восстановлений b_1 . Для ИП такие характеристики определяются на основе его технических данных. Таким образом, функционирование каждого элемента ЭМ = {ПР, ЗУ, ИП} можно представить альтернирующим процессом восстановления с показательно распределенными временами пребывания в работоспособном и отказовом состояниях. Это позволяет воспользоваться марковскими моделями и, в силу независимости отказов компонент, процедуру расчета разбить на ряд подзадач, рассматривающих систему из двух простых элементов и решаемых по одному алгоритму z_1 (ПР, ЗУ); z_2 (ЗУ, ИП). Для описания программных отказов воспользуемся распределением Вейбулла с параметром формы $k < 1$, $P\{v_0 < t\} = V_0(t) = 1 - \exp(-v_0 t^k)$, продолжительность устранения программной ошибки является случайной величиной и описывается экспоненциальным распределением $P\{v_1 < t\} = V_1(t) = 1 - \exp(-v_1 t)$. Поскольку не все случайные величины имеют экспоненциальное распределение, для расчета надежности ЭМ используется аппарат полумарковских процессов. Определив параметр потока отказов d_0 и восстановлений d_1 каждой ЭМ, переходим к расчету показателей надежности БСО, ВБ и, в конечном итоге, всей микропроцессорной системы. При этом, произвольное соединение блоков расчленяется на ряд простых (последовательное, параллельное и мажоритарное "к из N") и проводится расчет параметров потоков отказов r_0 и восстановлений r_1 для каждого случая:

$$r_0 = \frac{\frac{N!}{(k-1)!} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right]^{N-k} \frac{\lambda_0}{(k\lambda_0 + \lambda_1)}}{\sum_{i=0}^{N-k} \frac{N!}{(N-i)!} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right]^i \frac{1}{((N-i)\lambda_0 + \lambda_1)}}; \quad r_1 = \frac{\frac{N!}{(k-1)!} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right]^{N-k+1} \frac{\lambda_1}{((k-1)\lambda_0 + \lambda_1)}}{\sum_{i=N-k+1}^N \frac{N!}{(N-i)!} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right]^i \frac{1}{((N-i)\lambda_0 + \lambda_1)}}$$

где λ_0 и λ_1 - соответственно параметры потоков отказов и восстановлений исходных блоков. При $k=N$ имеем случай последовательного соединения; $k=1$ - параллельного; $1 < k < N$ - мажоритарную схему "k из N". Для расчета надежности иерархических структур используются марковские модели, учитывающие особенности функционирования таких систем и позволяющие определить результат, решая уравнения Колмогорова.

Результат расчета надежности микропроцессорных систем уточняется с помощью коэффициентов, учитывающих качество проектирования, ремонтпригодность, окружающие условия функционирования, загруженность системы и некоторых других.

Для определения показателей функциональной надежности ИУС ЭЭО следует определить модели случайных величин, учитывающие особенности функционирования контролируемых объектов. Такие модели будут различны для разных ФС. Наиболее сложной в этом отношении представляется система РЗА, контролирующая поток аварийных ситуаций (КЗ), возникающих через случайные промежутки времени w с произвольной нестационарной функцией распределения $P\{w < t\} = B(t)$. Для описания таких ситуаций используются различного рода распределения, в том числе, специально разработанные или их смесь. При их построении использовались статистические данные, полученные на исследуемом объекте или аналогичном. Подобным образом описывается поток аварийных ситуаций на смежных участках, представляющий собой требования несрабатывания, а также поток, так называемых, фиктивных требований. На следующем этапе расчета на основе полученных данных о надежности аппаратной части ИУС ЭЭО, а также информации о состоянии контролируемого объекта, с использованием полумарковского аппарата исследования, определяются показатели функциональной надежности этих систем.

В шестой главе исследуется ряд вопросов, связанных с проектированием микропроцессорных ИУС, а также отдельных ФС. Основное внимание уделено задачам оптимального распределения прикладных функций (ПФ), формирования технической структуры, выбора методов повышения надежности, оптимизации режимов профилактического обслуживания, организации диагностирования.

Ориентируясь на функционально-логический уровень представления, с использованием полученных выше результатов, проведена формализация процесса проектирования ИУС мощных ЭЭО (рис. 4). При этом выделено два основных этапа, первый из которых связан с формированием функциональной и технической структуры объекта для случая идеальных (в надежности смысле) компонентов, а второй - с реализацией комплекса мероприятий по обеспечению заданного уровня надежности. Однако, в силу достаточно тесной связи этих этапов между

собой, процесс проектирования построен как итерационный.

Надежность НУС зависит от многих факторов, среди которых немаловажное значение имеет распределение аппаратных и программных средств по всем уровням функциональной структуры. В частности, одной из основных при этом является задача распределения ПФ между множеством аппаратных средств. В общем виде такая задача формулируется следующим образом. Распределить $F=\{f_i\}$ ($i=\overline{1,p}$) ПФ между устройствами $D=\{d_j\}$ ($j=\overline{1,a}$) при условии выполнения некоторой совокупности требований, определяющих область допустимых решений. Например, обеспечить минимум суммарного времени выполнения ПФ на всех

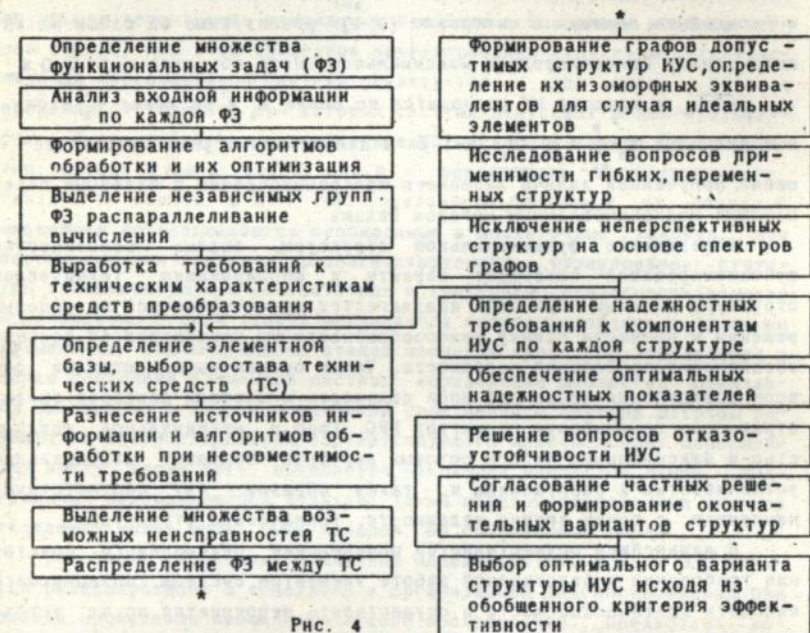


Рис. 4

устройствах при различных ограничениях на совместимость решаемых задач. Предложено решение задачи выбора и обоснования распределения ПФ, реализующих защиту блока генератор-трансформатор 800 МВт между множеством микроконтроллеров (МК) при известной структуре такой системы. Система защит $V=(A, W, Q, T)$, состоящая из a МК, реализует p основных и резервных защит ($W_i, i=\overline{1,2}$ - признак защиты), защищая при этом L объектов ($Q_j, j=\overline{1,L}$ - признак объекта). Для этого в систему вводится $A=(A_1, A_2, \dots, A_n)$ входных сигналов, обработка которых позволяет выполнить ПФ за время $T=(T_1, T_2, \dots, T_p)$. Результат

ищем путем определения массива $X = (x_{zm})$; $z = \overline{1, p}$; $m = \overline{1, s}$, причем $x_{zm} = 1$, если m -я МК выполняет z -ю защиту и $x_{zm} = 0$ - в противном случае. Запишем ограничения на множество решений задачи: все защиты должны быть распределены между МК- $\sum_{m=1}^s \sum_{z=1}^p x_{zm} = p$; каждый МК должен содержать не более одной основной защиты $\sum_{z=1}^p W_z x_{zm} \leq 1$ при $m = \overline{1, s}$; сумма времен срабатывания защит, реализуемых каждым МК, не должна превышать его временного ресурса $T_m - \sum_{z=1}^p T_z x_{zm} \leq T_m$, $m = \overline{1, s}$; защиты должны быть распределены равномерно между МК $|(p/s) - \sum_{z=1}^p x_{zm}| / (p/s) \leq \sigma$; $m = \overline{1, s}$, где σ - константа, лежащая в интервале $[0, 1]$; реализуемые на одном МК защиты должны контролировать максимальное число объектов - $1 \leq \sum_{z=1}^p Q_z x_{zm} \leq 1$, $m = \overline{1, s}$; к каждому МК подводится не более K_1 и не менее K_2 входных сигналов $K_2 \leq \sum_{z=1}^p A_z x_{zm} \leq K_1$, $m = \overline{1, s}$. В дальнейшем осуществляется решение полученной задачи линейного программирования с булевыми переменными модифицированным методом Балаша.

Определение функциональной структуры, анализ особенностей функционирования позволяет перейти к формированию технической структуры системы. При этом предлагается ориентироваться на типовые решения и провести оценку целесообразности их применения по условию обеспечения требований надежности. Такие оценки выполняются на основе определения чисел реберной связности и остовых деревьев графа, отражающих техническую структуру ИУС. Граф с максимальной связностью и максимальным числом остовых деревьев обладает максимальной устойчивостью к разрушениям и, таким образом, ему соответствует наилучшая, с точки зрения надежности, техническая структура.

В дальнейшем осуществляется определение оптимального сочетания требований к безотказной работе элементов системы, позволяющего находить критические места и осуществлять мероприятия по их устранению. Такая задача сводится к дискретной минимаксной задаче с целевой функцией: $\min \max_{p, i=1, n} (p_{s/i})$, $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$; при ограничениях $R_1 \leq p_i \leq R_2$, где p_i - вероятность отказа i -го устройства; $p_{s/i}$ - вероятность отказа системы из-за отказа i -го устройства, причем $p_{s/i} = p_i | p_{i-1}$; $R_1(R_2)$ - заданный предел надежности снизу (сверху). Решение минимаксной задачи осуществляется с использованием обобщенного беспараметрического метода внешней точки. Как правило, рассчитанные значения, определяющие требования к вероятностям безотказной работы элементов системы оказываются более высокими, чем аналогичные пока-

затели имеющихся в наличии технических средств. Принимая во внимание особенности функционирования ИУС ЭЭО, наиболее приемлемыми способами повышения надежности являются введение различного вида и типа избыточности, организация контроля и диагностирования при обеспечении своевременного профилактического обслуживания.

Организация контроля и диагностирования микропроцессорных ИУС ЭЭО является одним из основных способов обеспечения безотказности. Учитывая иерархичность структуры ИУС, различную чувствительность системы к отказам отдельных элементов, в качестве критерия диагностируемости системы выбран показатель p , характеризующий максимально допустимую вероятность нахождения элемента в состоянии необнаруженного отказа. При этом процедура проектирования структуры отказоустойчивой многомашиной системы реализуется в три этапа. Вначале определяются условия, при которых система допускает p -диагностируемость. Система будет p -диагностируемой, если для каждой ЭМ выполняется условие $R_i N_i \geq p$; $i = \overline{1, n}$, где R_i - вероятность необнаруженного отказа i -ой машины, а N_i - чувствительность системы к ее отказу. В дальнейшем устанавливаются необходимые и достаточные условия, при которых система допускает p -диагностируемость. Формирование структуры взаимоконтроля в соответствии с критерием p -диагностируемости формализовано в виде задачи нелинейного программирования с булевыми переменными. Заключительным этапом является процедура определения и оценки состояний элементов системы. Определение множества отказавших ЭМ сведено к задаче нахождения собственного вектора матрицы результатов диагностирования, соответствующего максимальному собственному числу. Кроме того, выявляется некоторое множество машин, подверженных перемежающимся отказам. Таким образом, проведенный диагноз отказавших машин может быть неполон, но обязательно верен.

Основными средствами повышения надежности ИУС мощных ЭЭО является резервирование в сочетании с организацией диагностирования при условии проведения профилактического обслуживания. Предложена модель и получены расчетные соотношения, позволяющие решать задачи оптимального распределения усилий между глубиной резервирования, интенсивностью диагностирования и восстановления по условию обеспечения достижения заданных значений T_0 , K_r и $K_{тн}$ (T_0 - время наработки между отказами, K_r и $K_{тн}$ - коэффициенты готовности и технического использования).

Проведена апробация предложенных методик при создании микропроцессорных систем регистрации и анализа событий на ЭЭО, защиты блока генератор-трансформатор, защиты линии 500-1150кВ, а также информационно-диагностического комплекса ЭЭО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе осуществлено теоретическое обобщение и решение научно-технической проблемы комплексного исследования и разработки интегрированных информационно-управляющих систем мощных электроэнергетических объектов. Решение этой проблемы, являющейся частью программы информатизации, ставшей в развитых странах национальной, имеет важное экономическое и социальное значение, обеспечивая повышение надежности и экономичности функционирования энергосистем. Основные научные и практические результаты диссертации состоят в следующем.

1. Анализ основных технологических задач, связанных с реализацией функций управления ЭЭО, а также оценка требований к их информационному обеспечению, позволил разработать, основанные на едином методологическом подходе, связанном с проведенной классификацией задач, выделением типовых элементов и процедур, способы формирования моделей ИУС и его элементов, а также методы их анализа и проектирования. Сформулированы, базирующиеся на основных положениях системного подхода, методологические принципы моделирования ИУС ЭЭО, обеспечивающие возможность комплексного исследования таких систем, ориентируясь на функциональную, структурную и параметрическую составляющие с учетом возможности различной глубины их представления.

2. На основе проведенной классификации функциональных задач, решаемых ИУС ЭЭО, а также определения наиболее устойчивых сущностей ЭЭО, основных источников и потребителей информации, в терминах баз данных, построена информационная модель объекта в виде канонической структуры, которая в дальнейшем преобразована в логическую, ориентированную на реляционный тип представления данных. Такая модель адекватно отражает основные информационные сущности элементов ЭЭО, отличается минимальной избыточностью и универсальностью. Ориентируясь на решение ряда задач оперативно-диспетчерского управления ЭЭО, и, в первую очередь, задачу защиты от неправильных действий персонала при коммутационных переключениях в РУ, показана принципиальная возможность использования для этих целей, построенную с использованием полученной логической структуры, базы данных и формирования на этой основе необходимых сочетаний данных.

3. Обоснованы базирующиеся на проведенной классификации различного рода технические требования и их объединения по функциональным группам задач, определены основные структурные схемы ИУС ЭЭО. Построена общая структура ИУС трансформаторной подстанции 330-750 кВ. Проведено исследование основных структурных схем, основанное на выделении типовых элементов, позволившее с различной сте-

пенью детализации отразить их сущность, а также свести рассмотрение достаточно большого числа вариантов реализации ИУС ЭЭО к ограниченному набору. На основе проведенного исследования рассмотрены различные варианты компоновки ИУС на ЭЭО, определены их особенности и даны рекомендации по применению. Ориентируясь на один из таких вариантов компоновки, выполнены расчеты по оценке различных требований к достоверности получения информации в системе оперативно-диспетчерского управления, позволившие предложить ряд практических решений.

4. Сформулирован и решен комплекс задач моделирования режимов аналоговой части ПИК ИУС. Показано, что структура ПИК может быть определена на основе ограниченной совокупности типовых устройств, схемные модели которых описываются линейными уравнениями. Формализована процедура точностной оптимизации канала путем сведения к традиционной задаче нелинейного программирования, решение которой ищется в пространстве конструктивно-технологических параметров элементов, составляющих ПИК. Проведен анализ и выработаны рекомендации по формализации требований к точностным характеристикам ПИК и его элементам с учетом особенностей решения задачи точностной оптимизации. Установлено, что задача обеспечения точностных характеристик ПИК, предназначенных для работы в динамических режимах, может быть решена методами структурного синтеза на основе использования принципа восстановления сигнала. Предложен способ формирования структуры корректирующих устройств, опирающийся на использование типовых элементов, параметры и структуры которых определены соответствующими элементами, входящими в состав ПИК. Предложенные решения легли в основу разработки измерительных преобразователей тока с аналоговыми корректирующими устройствами.

5. Выполнен анализ основных задач, связанных с формализацией математического моделирования аналоговых элементов ПИК, позволивший при этом выделить типовые, и показано, что они, в свою очередь, могут быть решены путем организации специальных вычислений; ориентированных на ограниченную совокупность типовых вычислительных процедур. Наряду с этим на различных стадиях решения задач моделирования, в частности, для автоматизации процедуры формирования математических моделей, их упорядочения и оптимальной организации вычислительных процедур, разработаны специальные методы кодирования. Предложенные решения реализованы в виде универсальных программных комплексов.

6. Задача оценки показателей безотказности микропроцессорных ИУС ЭЭО различной структуры, применительно к условиям нестационар-

ности объекта управления, зависимого характера возникающих отказов, наличия явления сбойного характера, а также с учетом недостоверности и неполноты контроля элементов, влияния профилактических мероприятий и различной глубины диагностирования, решена в рамках модели функционирования, разработанной с использованием основных положений теории полумарковских процессов. При этом такая система строится с использованием совокупности типовых функциональных блоков различной степени интеграции. На основе этой модели разработана методика расчета показателей безотказности ИУС. Предложенная методика использовалась на расчете показателей безотказности ряда микропроцессорных систем.

7. Изложенные результаты по отдельным этапам проектирования ИУС ЭЭО с учетом требований к безотказности обобщены и сформулированы в виде процедуры решения последовательности задач, ориентированной на определение решения для случая идеальных компонентов а также ряда уточняющих задач, направленных на выбор мероприятий, по обеспечению заданного уровня надежности: а) оптимизации распределения прикладных функций между микроЭВМ в многомашинной системе с заданной структурой; б) формирования структуры системы по критерию оптимальности вероятностей безотказной работы элементов системы; в) выбора оптимального сочетания глубины резервирования, периодичности диагностирования и интенсивности восстановления; г) оценки стратегий профилактики.

8. В развитие идеи создания отказоустойчивых систем с учетом особенностей ИУС ЭЭО, заключающихся в использовании нерегулярных иерархических структур, характеризующихся различной чувствительностью к отказам отдельных элементов, необходимости учета влияния организации диагностирования на результирующую надежность системы, разработан способ выбора оптимальной организации взаимоконтроля микропроцессорных систем, использующих предложенное условие р-диагностируемости каждой микроЭВМ. Задача, в конечном итоге, сведена к оптимизационной процедуре. Вначале, с использованием предложенного способа, решается задача нелинейного целочисленного программирования, обеспечивающая построение модели взаимоконтроля системы с учетом условия р-диагностируемости и, в дальнейшем, осуществляется определение множества допустимых неисправностей системы исходя из матрицы синдрома путем нахождения максимального собственного числа и соответствующего ему собственного вектора.

9. Основные научные результаты работы, ее практические решения были использованы для теоретического обоснования и разработки ряда базовых и частных научно-технических вопросов, направленных на созда-

ние методов, методик и программных средств проектирования микропроцессорных ИУС ЭЭО и их элементов, что позволило ускорить разработку ряда образцов, сэкономить труд специалистов и принять эффективные технические решения. В частности, полученные решения легли в основу разработки комплекса программных средств проектирования ИПТ: методики расчета показателей безотказности микропроцессорных систем; ИПТ с аналоговыми корректирующими устройствами; многофункционального измерительного прибора, кроме того, они использовались при создании защиты блока генератор-трансформатор, защиты линии, системы регистрации и анализа событий на подстанции, а также информационно-диагностического комплекса.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Монографии: 1. Оптимизация аналоговых элементов и устройств автоматики электроэнергетических систем / Стогний Б.С., Годлевский В.С., Кириленко А.В., Левитский В.Г. - Киев: Наук. думка, 1986. - 208 с:

2. Микропроцессорные системы в электроэнергетике / Стогний Б.С., Рогоза В.В., Кириленко А.В. и др. - Киев: Наук. думка, 1988. - 300 с.

3. Моделирование и автоматизация проектирования измерительных преобразователей тока / Стогний Б.С., Кириленко А.В., Пуяло Г.В. и др. - Киев: Наук. думка, 1989. - 268 с.

4. Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике / Стогний Б.С., Гуляев В.А., Кириленко А.В. и др.; Под ред. Стогния Б.С. - Киев: Наук. думка, 1991. - 248 с.

5. Теоретические основы построения микропроцессорных систем в электроэнергетике / Стогний Б.С., Кириленко А.В., Проске Д. и др. Под ред. Стогния Б.С., Кириленко А.В., Проске Д. - Киев: Наук. думка, 1992. - 320 с.

Препринты: 6. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Кохно Э.С. Полумарковские модели и их применение к анализу работоспособности систем защит. - Киев, 1986. - 44с. (Препр. /АН УССР. Ин-т электродинамики; N463).

7. Стогний Б.С., Демин А.Е., Кириленко А.В., Зозуля А.М. Особенности работы и принципы построения измерительных преобразователей сварочного тока. - Киев, 1987. - 51с. (Препр. /АН УССР. Ин-т электродинамики; N536).

8. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Кохно Э.С. Отказоустойчивые микропроцессорные системы автоматики и защиты электроэнергетических объектов. - Киев, 1988. - 39с. (Препр. /АН УССР. Ин-т электродинамики; N537).

9. Демин А.Е., Кириленко А.В., Перепечкин А.Е. Особенности построения средств контроля параметров сварочного процесса. - Киев,

1990. -45с. (Препр. /АН УССР. Ин-т электродинамики; N674).

10. Кириленко А. В. Особенности построения информационно-управляющих систем электроэнергетических объектов. -Киев, 1991. -36с. (Препр. /АН УССР Ин-т. электродинамики; N696).

Статьи. 11. Петунин Ю. И., Стогний Б. С., Кириленко О. В. Застосування оптимізаційних методів при синтезі вимірювальних перетворювачів струму // Вісник АН УРСР. -1978. -№8. -С. 22-29.

12. Стогний Б. С., Кириленко А. В. Применение амплитудно-фазовых характеристик для определения основных показателей качества электромагнитных измерительных преобразователей тока. // В кн.: Моделирование и автоматизация электроэнергетических систем. -Киев: Наук. думка, 1978. -С. 105-115.

13. Стогний Б. С., Кириленко А. В. Критерии и ограничения при точностном синтезе измерительных преобразователей тока. // В кн.: Автоматизация и релейная защита энергосистем. -Киев: Наук. думка, 1981. -С. 13-16.

14. Петунин Ю. И., Стогний Б. С., Кириленко А. В. Параметрический синтез измерительных преобразователей тока // Техн. электродинамика. 1981. -N4. -С. 84-90.

15. Параметрическая оптимизация электромагнитной системы измерительных преобразователей тока /Стогний Б. С.; Годлевский В. С., Кириленко А. В., Левитский В. Г. // Электронное моделирование. 1982. -N4. -С. 46-50.

16. Кириленко А. В., Чернякин В. П. Машинные методы расчета конструктивных параметров линейных измерительных преобразователей тока // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: Наук. думка, 1983. -С. 30-38.

17. Кириленко А. В. Алгоритм вычисления выходных характеристик измерительных преобразователей тока. // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: Наук. думка, 1984. -С. 64-71.

18. Кириленко А. В., Киселев В. А. Применение метода подсхем при моделировании и оптимизации измерительных преобразователей // Техн. электродинамика. 1984. -N3. -С. 91-94.

19. Структурные методы восстановления входного сигнала электромагнитных измерительных преобразователей тока /Стогний Б. С., Годлевский В. С., Кириленко А. В., Демин А. Е. // Техн. электродинамика. 1985. -N1. -С. 96-102.

20. Кириленко А. В., Левитский В. Г. Модификация метода кодирования формул в задачах оптимизации элементов систем автоматики // Техн. электродинамика. 1986. -N4. -С. 100-104.

21. Кириленко А. В., Левитский В. Г., Рункович В. В. К определе-

нию свободных составляющих переходных процессов в линейных электрических схемах по их частотным характеристикам. // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: Наук.думка, 1986. -С. 33-38.

22. Кириленко А.В., Рункович В.В. Особенности автоматизации проектирования электромагнитных элементов систем автоматики электроэнергетических объектов // В кн.: Быстродействующая релейная защита и противоаварийная автоматика электрических систем. -Новосибирск: НЭТИ, 1987. -С. 141-147.

23. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Демин А.Е. Повышение точности отображения информации в системах регистрации и защиты электроэнергетических устройств. // В кн.: Быстродействующая релейная защита и противоаварийная автоматика электрических систем. -Новосибирск: НЭТИ, 1987. -С. 82-89.

24. Кириленко А.В., Кохно Э.С., Холоденко Ю.Н. Алгоритм оптимального распределения защит в многомашинной системе защиты блока генератор-трансформатор. // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: Наук. думка, 1987. -С. 57-61.

25. Кириленко А.В., Рункович В.В., Холоденко Ю.Н., Чернякин В.П. Система регистрации и отображения информации повышенной информационной емкости. // В кн.: Автоматизированные системы контроля и управления агропромышленными комплексами. -Киев: ИА, 1988. -С. 80-83.

26. Кириленко А.В., Рыпун А.Н. Организация контроля работоспособности микропроцессорной системы регистрации параметров ЛЭП. // В кн.: Автоматизированные системы контроля и управления агропромышленными комплексами. -Киев: ИА, 1988. -С. 83-86.

27. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Кохно Э.С. Надежностное проектирование отказоустойчивых микропроцессорных систем автоматики и защиты электроэнергетических объектов // В кн.: Материалы IX научной конференции по энергохозяйству "Автоматизация энергетических процессов" -Штутт (ГДР): ВТШ, 1989. -С. 70-74.

28. Стогний Б.С., Кириленко А.В. Интегрированная система автоматизации узловой подстанции // В кн.: Материалы IX научной конференции по энергохозяйству "Автоматизация энергетических процессов" -Штутт (ГДР): ВТШ, 1989. -С. 74-78.

29. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Кохно Э.С. Вопросы надежности отказоустойчивых микропроцессорных систем автоматики и защиты // Электротехника. - 1989. -№5. -С. 14-17.

30. Стогний Б.С., Кириленко А.В., Кохно Э.С. Анализ и оптимальное проектирование самодиагностируемых систем // Электронное моделирование. 1989. №6. -С. 34-38.

31. Левитский В. Г., Кириленко А. В., Буткевич А. Ф. Особенности организации эффективных процедур моделирования процессов в сложных электроэнергетических объектах //Техн. электродинамика. -1990. -№3. С. 89-94.

32. Кириленко А. В., Рипун А. Н. Построение и выбор параметров информационно-управляющих систем крупных электроэнергетических объектов // В кн.: Материалы I всесоюзной науч.-техн. конференции: "Проблемы комплексной автоматизации электроэнергетических систем на основе микропроцессорной техники" -Киев: ИЗД, 1990. -Ч. 1. -С. 19-23.

33. Стогний Б. С., Кириленко А. В., Кохно Э. С. Особенности организации интегрированной системы автоматизации подстанции с учетом требований к ее надежности //В кн.: Материалы I всесоюзной науч.-техн. конференции: "Проблемы комплексной автоматизации электроэнергетических систем на основе микропроцессорной техники" -Киев: ИЗД, 1990. -Ч. 1. -С. 33-43.

34. Стогний Б. С., Кириленко А. В., Левитский В. Г., Буткевич А. Ф. Экспертные средства организации численных экспериментов в энергетике // Электронное моделирование. -1991. -№4. -С. 51-55.

35. Буткевич А. Ф., Кириленко А. В., Левитский В. Г. К задаче упорядочения уравнений при расчете схем с многополюсными элементами // Известия ВУЗов. Электромеханика. -1991. -№9. -С. 76-78.

36. Буткевич А. Ф., Кириленко А. В., Левитский В. Г., Обобщенный алгоритм упорядочения блочных систем уравнений // Электронное моделирование. -1992. -№4. -С. 5-8.

37. Кириленко А. В., Проске Д. Основные требования и особенности построения микропроцессорных систем управления электроэнергетическими объектами // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: ИЗД АН Украины, 1992. -С. 13-26.

38. Кириленко А. В., Проске Д. Анализ функциональной структуры информационно-управляющих систем электроэнергетических объектов //В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: ИЗД АН Украины, 1992. -С. 47-56.

39. Кириленко А. В., Рункович В. В., Зозуля А. М. Организация диалога при подготовке данных о математическом описании исследуемого объекта // В кн.: Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. -Киев: ИЗД АН Украины, 1992. -С. 118-125.

Авторские свидетельства. 40. А. С. 1324800 СССР МКН⁴ В23К 11/24. Измерительный преобразователь сварочного тока. / Стогний Б. С., Годлевский В. С., Демин А. Е., Кириленко А. В. // Оpubл. 23.07.87. Бюл. №25.

41. А. С. 1446658 СССР МКН⁴ H01F 40/14, Устройство для компенса-

ции погрешности измерительного трансформатора тока. / Стогний Б. С., Демин А. Е., Кириленко А. В., Перепечкин А. Е. // Оpubл. 23.12.88. Бюл. N 47.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит: -формализация задач анализа и оптимизации устройств и элементов систем РЗА [1, 3], формирование их схемных и математических моделей [11, 13, 18], расчет показателей качества [12, 14, 15, 21], методы проектирования, ориентированные на определение КТП [16, 22], решение задачи восстановления сигнала линейных НПТ в динамических режимах [7, 9, 19, 23]; -формализация процедуры математического моделирования линейных аналоговых устройств, ориентированной на методы кодирования [20, 31], организация кодирования при упорядочении уравнений [35, 36, 39], а также создании средств численного моделирования [34]; -анализ проблемы, разработка теоретических и методологических основ анализа и проектирования микропроцессорных НУС с учетом требований по точности и безотказности [2, 4, 5, 37, 38], определение надежности характеристик [6, 8], постановка задачи оптимального распределения ПФ между МК [24], способ организации контроля работоспособности [26, 30], общая структура НУС с учетом требований надежности [27, 29, 33], формирование функциональной и иерархической структуры НУС ЭЭО [25, 32]. В [40, 41] авторские права распределены поровну.



Подписано к печати 17.03.1993г.
Бумага офсетная Усл.-печ. лист 2,0.
Тираж 100. Заказ 922. Бесплатно

Формат 6^х84/16
Уч.-изд. лист 2,0.

ФОЛ Института электродинамики АН Украины
252680, Киев-57, проспект Победы, 56

Ab 26.969

Ab 26.969