

УДК 621.713.13: 621.313

А.П. НИКИФОРОВ (канд.техн.наук, доц.)
Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»
arnikiforov@yandex.ua

ДИСПЕТЧЕР СМАРТ-ГРИД В КАЖДОМ УСТРОЙСТВЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Предлагается описание подхода к анализу, синтезу и построению унифицированной схемы смарт-грид. Подход основан на структурно-информационном методе, который позволяет доказательно мотивировать дальнейшие шаги в построении оптимально работающей схемы смарт-грид, контролировать решаемость поставленной задачи. Предлагается унифицированная схема смарт-детектора, которая позволяет строить устройства автоматического поддержания работоспособности и контроля технико-экономической эффективности работы смарт-грид.

Ключевые слова – смарт-грид, унификация, оптимальность, система стабилизации, смысловой детектор, моделирование, переходной процесс, структурно-лингвистический метод, технический интеллект

Анализ последних исследований и публикаций. Сочетание возрастающей стоимости традиционных энергоносителей, совершенствование технологий, элементной базы устройств и распространение знаний в области экологии привело к задействованию в энергетике возобновляемых источников энергии. Имеются в виду преобразователи источников малокалорийных энергий (солнца, ветра, гидро-, энерго-аккумулирующих агрегатов, химических реакций, тепловых насосов и др.) в источники генерации электроэнергии с принятыми в энергетике параметрами [1, 2]. Исходя из технических характеристик (недостаточная генерирующая мощность, прерывность работы и др.), эти источники можно классифицировать как дополнительные источники электроэнергии (по отношению к основным или традиционным источникам). Интенсивное развитие технологий в области дополнительных источников электроэнергии можно рассматривать как новый этап развития энергетики.

Среди задач построения электросетей, решаемых при задействовании дополнительных источников электроэнергии [1, 2], выделяются экономические и технические задачи. Введем рамки, в которых будем решать задачи. А) Задачи связаны между собой и в общем случае должны решаться совместно. Тем не менее, решение только технических задач так же позволяет продвигаться в решении задач в целом. К техническим задачам можно отнести работоспособность и оптимальность построения электросети, устойчивость и оптимальность передачи электроэнергии и так далее, а также технические способы учета стоимости генерации-потребления электроэнергии при взаимодействии различных источников энергии в сети.

Б) Электросеть с множеством источников дополнительной генерации электроэнергии представляется регулярной сеткой электротехнических элементов. Эта сетка (грид) управляется потоками информации, и электрическая сеть становится интеллектуальной (смарт) системой. Потоки информации в системе смарт-грид (СМГР) оказываются решающими в цепочке преобразований электроэнергии «Генерация-накопление-потребление». В этой связи электросеть можно преобразовать в систему автоматического управления СМГР. Объектом управления и защиты (ОУЗ) является смарт-грид, соответственно и вся система СМГР относится к области технического интеллекта [3, 4].

В) Развитие технологий в части накопления электроэнергии и энергоносителей [1, 2] позволяет решать задачи работоспособности самой системы СМГР и придает новые возможности системе СМГР по отношению к традиционной электросети.

Г) Решение технических задач приводит к задействованию наработок в области технического интеллекта, несмотря на развитие и широкое распространение в электроэнергетике и промышленных технологиях «обычных» методов математического описания [3-7]. Под техническим интеллектом подразумевают работу системы согласно множеству правил P_N ее работы. Исходя из анализа методов технического интеллекта [3-7] традиционные понятия и законы электротехники, можно трактовать в качестве законов преобразования потоков информации в ОУЗ. Для описания работы системы СМГР используются, прежде всего, динамические методы технического интеллекта в виду изменения во времени переходных процессов (ПП) в электросети. Методы технического интеллекта позволяют разделить поток информации в ОУЗ и системе автоматического управления на элементарные структурные составляющие [3-7], оперируют правилами P_N обработки структурных составляющих согласно весовым коэффициентам K_N значимости составляющих по отношению к смыслу решаемой задачи.

Д) Понятия информация, методы обработки информации имеют универсальный характер, это позволяет строить согласованные с техническими также и экономические модели. В ОУЗ можно также включить схему перетока стоимостно-мощностных потоков.

Постановка проблемы. Пусть имеется стандартный участок U в сетке СМГР (рис. 1). Участки U имеют разные стоимостно-эксплуатационные параметры цепочки «Генерация-накопление-потребление». Класс напряжения сети СМГР может быть любым: до 0.4 кВ, 6-35 кВ, от 110 кВ и выше. Участок U состоит, в общем случае, из элементов объединенных в эквивалентный блок (рис. 2) – потребитель X с комплексным сопротивлением, генератор G и накопитель B с типичными параметрами для класса напряжения и способами генерации-накопления электроэнергии, а так же элемент «выживаемости» L системы СМГР (например, дугогасящий реактор для сети 6-35 кВ с резонансно-заземленной нейтралью [4, 5], который позволяет сохранять работоспособность сети при повреждении изоляции фазы на землю). Так же через участок U в узел СМГР может подключаться источник генерации G традиционной электросети. Тогда Функцию накопителя B будут реализовывать резервы генерирующей мощности P источника G , параметры работы ближайших узлов СМГР и участок U будут приближаться к параметрам работы традиционной электросети. Участок U может быть оперативно устранен из системы СМГР выключателями Q . В таком случае работа оставшейся системы СМГР сохраняется. Система СМГР имеет возможность разъединения на гальванически не связанные участки. На работу участка U влияют возмущающие воздействия (рис. 1, 2), которые нарушают выполнение критерия оптимальности работы системы СМГР. Среди возмущающих воздействий можно выделить – напряжение $U_{УЗЕЛ}$ в узле СМГР, ток нагрузки I , стоимость электроэнергии $\$$, ресурсы накопителей B электроэнергии и др.

В системе СМГР в каждый момент времени устанавливается баланс работы цепочки «Генерация-накопление-потребление» согласно, например, рис. 2. Система СМГР характеризуется изменением параметров этой цепочки (разная стоимость $\$$ электроэнергии, разный диапазон изменений напряжения $U_{УЗЕЛ}$ (рис. 1), переменная работа системы с накопителями B электроэнергии, не равномерная по времени генерация электроэнергии и другие). Работа системы СМГР ввиду определенной сложности поведения системы, имеет смысл при автоматическом решении задачи обеспечения работоспособности системы СМГР и поддержания критериев оптимальности работы цепочки «Генерация-накопление-потребление».

Формулирование целей статьи. Требуется обеспечить оптимальность автоматической работы цепочки «Генерация-накопление-потребление» во всей системе СМГР и в самом участке U (рис. 1, 2) согласно критерию оптимальности. В общем случае этот критерий оптимальности можно выразить как минимум стоимости потребления электроэнергии при максимуме качества электроэнергии. В критерий оптимальности могут входить дополнительные составляющие, переводя критерий в комплексный критерий оптимальности. Возможна реализация частных критериев оптимальности. Например, реализация критерия оптимальности преимущественно в участке U или управление способами потребления электроэнергии (изменение характера потребления – импульсное потребление или др.).

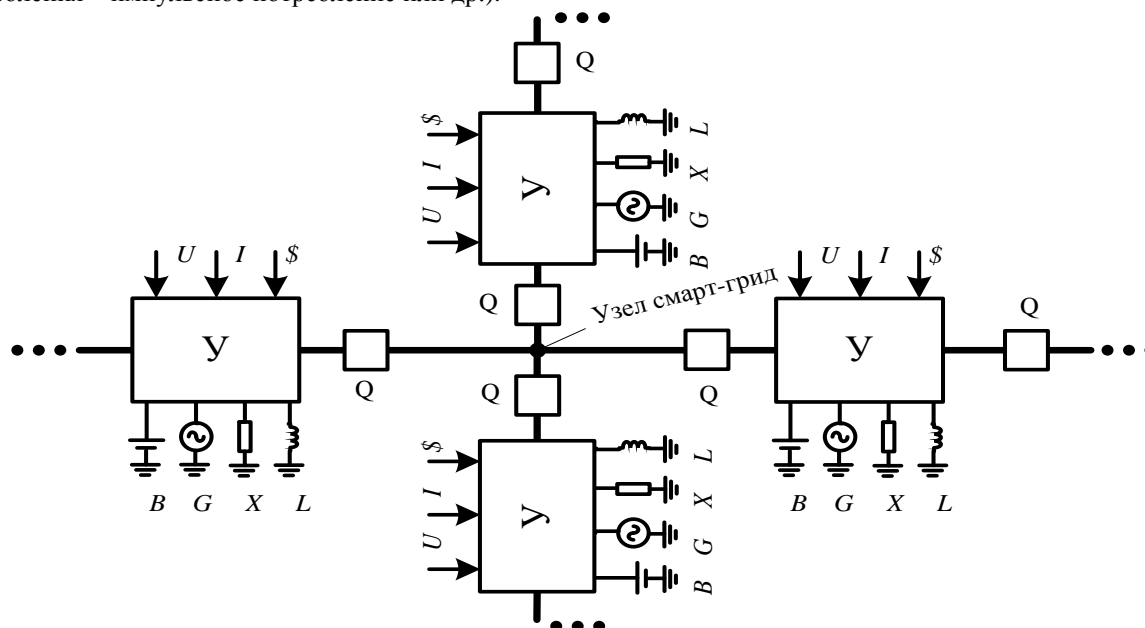


Рисунок 1 - Унифицированная схема системы смарт-грид

Среди критериев оптимальности работы цепочки «Генерация-накопление-потребление» можно выделить – «Наименьшая цена за электроэнергию в данный момент времени» или «Наименьшая цена за электроэнергию в данный момент времени с отсрочкой потребления на приемлемое время». Последний критерий задействуется, если нагрузка X позволяет работать в режиме импульсного потребления или понижении мощности P потребления. Приведем для сравнения примеры различных типичных нагрузок X .

А) Во многие типы нагрузки X (телекоммуникация и др.) встроены стабилизаторы, нормализаторы напряжения и питания, которые позволяют работать нагрузке в широком диапазоне напряжения U (например, автотрансформатор Атр на рис. 2). Таким образом участок U (рис. 1) оказывается более токовым потребителем,

чем потребителем мощности P . В узле СМГР (рис. 1) величина напряжения $U_{узел}$ будет меняться, и этот параметр можно задействовать в простом случае для реализации критерия оптимальности. Например, чем меньше напряжение $U_{узел}$ в узле СМГР, тем выгоднее продавать электроэнергию соседним участкам $У$.

Б) При питании части нагрузки X , а так же ответственных потребителей от источника бесперебойного питания работа нагрузки X в узле может переходить, по отношению к участку $У$ системы СМГР, на критерий оптимальности работы «...с отсрочкой потребления...», то есть выгодней подключать всю или часть нагрузки X к собственному источнику B , а в другие времена покупать более дешевую электроэнергию в узле системы СМГР. При необходимости наискорейшего нагрева воды потребитель может задействовать полную мощность P , на которую рассчитана нагрузка X . Например, во время, вечернего максимума суточного цикла потребления полная мощность P нагрузки X не столь важна. Потребитель, действуя режим «Эконом», может управлять потребляемой мощностью P . Соответственно устройства нагрузки X потребителя должны иметь такой режим. Дополнительно при питании нагрузки X от источника бесперебойного питания B (рис. 1, 2) устраняются влияния перегрузки в узлах системы СМГР при пусковых токах нагрузки X .

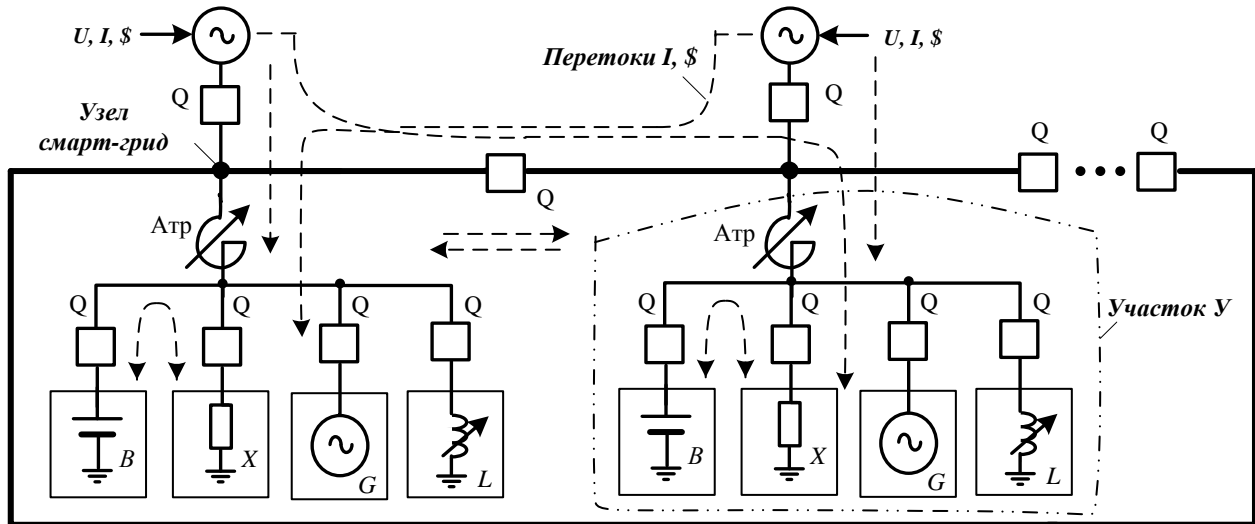


Рисунок 2 - Структурно-функциональная схема перетока электроэнергии в системе смарт-грид

В) При задействовании режима «Эконом» корректируется время следования импульсов потребления электроэнергии исходя из критерия оптимальности «...с отсрочкой потребления...». Так можно нагревать-охлаждать воду за 2 мин., но можно и за 20 мин, при сокращении тепловых потерь в промежутках потребления. Тоже касается термообработки продукции – кратковременные импульсные потребления электроэнергии для нагрева и поддержания температуры больше 75°C , а так же климат-контроль помещения, бытовые нужды (например, насос для откачивания воды), различные режимы освещения.

Г) Некоторые типы нагрузки (например, двигатели) снижают мощность P при понижении напряжения U .

Методы работы. Постановка задачи показывает, что управление системой СМГР подразумевает построение системы автоматического управления, поддерживающей критерий оптимальности работы системы СМГР (рис. 3). Составим словесное описание принципа работы такой системы. Возмущения, действующие на ОУЗ, приводят и к изменению выхода ОУЗ относительно установившегося смыслового состояния «Нормальный режим работы» [3-7], и к ПП в системе СМГР или ОУЗ к нарушению критерия оптимальности работы системы СМГР. Понятие «Нормальный режим работы» относится, прежде всего, к смысловому описанию работы ОУЗ и включает совокупность параметров ($U, I, P, \$$ и др.) работы системы СМГР. Смысловые состояния ОУЗ можно выделить демодуляцией изменения параметров ПП в ОУЗ [3-7].

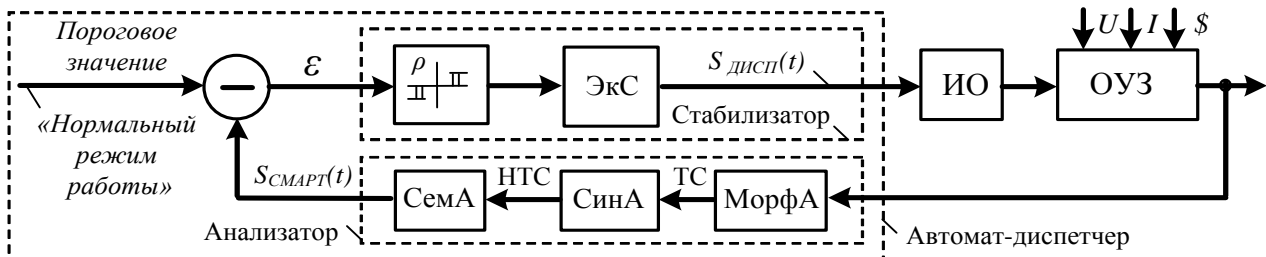


Рисунок 3 – Система стабилизации работы схемы смарт-грид по информационным составляющим

При нарушении заданного смыслового состояния «Нормальный режим работы» система управления возвращает ОУЗ в прежнее состояние, стабилизируя работу системы СМГР относительно заданного значения. Можно сказать, что работа системы СМГР представляется в виде системы стабилизации по смыслу (рис. 3).

Блок «Анализатор» формирует смысловой сигнал $S_{СМАРТ}(t)$, который соответствует ошибке ε между заданием «Нормальный режим работы» и текущим состоянием ОУЗ. Ошибка ε формируется смысловым детектором в блоке «Автомат-диспетчер» на основе информации об ОУЗ. В общем случае порог $\rho_{СМАРТ}(t)$ состоит из ряда порогов ρ , превышение которых ошибкой ε , следовательно, и сигналом $S_{СМАРТ}(t)$, приводит к задействованию разных ИО. Обозначение на рис. 3 многопорогового блока ρ в виде трехпозиционного применено для простоты графической иллюстрации. Срабатывания порогов ρ оценивается экспертной системой ЭкС и выдается смысловой сигнал $S_{ДИСП}(t)$ на управление соответствующим ИО.

Такое структурно-информационное описание [3-7] позволяет оперировать работой системы СМГР на более абстрактном уровне, по сравнению с традиционными подходами описания на основе конкретных элементов. Так, например, для подсчета стоимости $\$$ электроэнергии (рис. 4) ставится двунаправленный счетчик. Каждый потребитель X (рис. 2) устанавливает цены, за которые он мог бы покупать-продавать электроэнергию (рис. 4) в конкретную временную зону суточного цикла T_c . Параметры суточного цикла (желаемая стоимость $\$$ покупки-продажи) закладываются значениями порогов контроля ρ_{MAX} , ρ_{MIN} в блок «Автомат-диспетчер», который может быть встроен в каждое устройство потребителя X или в блок «Автомат-диспетчер» ряда потребителей (например, предприятия, дома и так далее). Таким образом формируются задачи блока «Автомат-диспетчер» (рис. 3, 4) - формирование смыслового сигнала $S_{ДИСП}(t)$ (в частности на основе датчика контроля изменения величины напряжения U в узле системы СМГР), контроль порогом ρ смыслового сигнала $S_{СМАРТ}(t)$, а так же выполнение необходимых дискретных подключений потребителя X (со своими стоимостно-технологическими параметрами) к источнику с наименьшей стоимостью $\$$ в конкретный момент времени T_c .

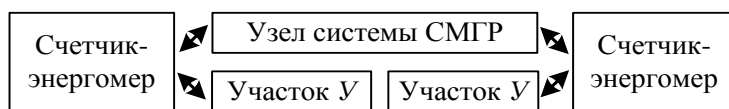


Рисунок 4 – Структурная схема расчета покупки-продажи Электроэнергии в блоке «Автомат-диспетчер» участка U

Решение задачи. Блок «Автомат-диспетчер» (рис. 3) поддерживает функционирование системы СМГР (рис. 1, 2), состоит из смысловых «Анализатора» и «Стабилизатора», образуя смысловой детектор или смарт-детектор (рис. 5). Синтез структурных схем «Автомат-

диспетчера» выполним структурно-информационным (СИ) методом [3-7], основанным на структурно-лингвистическом методе. СИ-метод позволяет оперировать во времени выходами информационных датчиков, которые являются первичными терминальными символами (ТС) (рис. 3, 5), а так же выходами состояний автоматов A анализа следования во времени цепочек ТС. Выходы автоматов морфологического (МорфА) и синтаксического (СинА) иерархических блоков определения являются нетерминальными символами (НТС) (рис. 3, 5). Среди НТС выделим следующие - «Напряжение в сети $U_{УЗЕЛ}$ », «Стоимость $\$/N/себестоимость $\$/M$ », «Зона максимума $MaxT_c$ /минимума $MinT_c$ нагрузки», «Мощность нагрузки P », «Временные зоны суточного цикла T_c » и др. Чем большее число ТС, НТС будет анализироваться, тем будет выше качество определения смысловых ситуаций (цепочки ТС), а также качество отделения одних смысловых ситуаций от других.$

Разделим совокупность НТС (рис. 5) на две группы – «За» и «Против» по отношению к необходимости изменения величины смыслового сигнала $S_{СМАРТ}(t)$ на увеличение. Сигнал $S_{СМАРТ}(t)$ изменяется в пределах 0%-100% (рис. 6). Таким образом, смарт-детектор формирует и анализирует непрерывный во времени смысловой сигнал $S_{СМАРТ}(t)$, который отражает текущее смысловое состояние системы СМГР относительно узла U (рис. 1). Назначим, что увеличение сигнала ошибки ε (или $S_{СМАРТ}(t)$) характеризует возможность участка U к продаже электроэнергии, уменьшение – к покупке электроэнергии. Устанавливая множество порогов $\rho_{СМАРТ}(t)$ можно определять (детектировать) множество текущих смысловых состояний в системе СМГР (рис. 1, 2, 3), например, возможности выполнения «покупки-продажи» электроэнергии внутри участка U . Одно из пороговых значений, отсекающее незначимые изменения в системе СМГР, является «Нормальный режим работы».

Алгоритм работы. Система стабилизации (рис. 3) работы схемы СМГР (рис. 1, 2) может функционировать следующим образом. Блок «Автомат-диспетчер» участка U (рис. 1-5) сканирует во времени цепочки ТС (рис. 3, 5) и формирует текущий уровень смыслового сигнала $S_{СМАРТ}(t)$, который посредством ошибки ε контролируется (рис. 6) порогом контроля (ρ_{MAX} , ρ_{MIN}). При необходимости сигнал $S_{СМАРТ}(t)$ дополняется другими НТС, формируемыми различными устройствами системы СМГР и передаваемыми по локальной информационной сети (рис. 5) (например, от устройств этого же участка U или других участков U).

Если пороги ρ параметров цепочки «Генерация-накопление-потребление», которые устанавливаются потребителем, превышаются (рис. 6), то блок «Автомат-диспетчер» устройства потребителя (рис. 3, 4) принимает решение о подключении нагрузки X потребителя к другому источнику (рис. 2) на потребление-генерацию электроэнергии, в том числе импульсную с технологическими требованиями потребителя. Пороги контроля ρ_{MAX} , ρ_{MIN} потребления-генерации (рис. 3, 6) подобны порогам контроля суточного цикла, устанавливаются потребителем в графическом интерфейсе программы-конфигуратора устройства блока «Автомат-диспетчер» потребителя X , блока «Автомат-диспетчер» генератора G или накопителя B (рис. 1, 2).

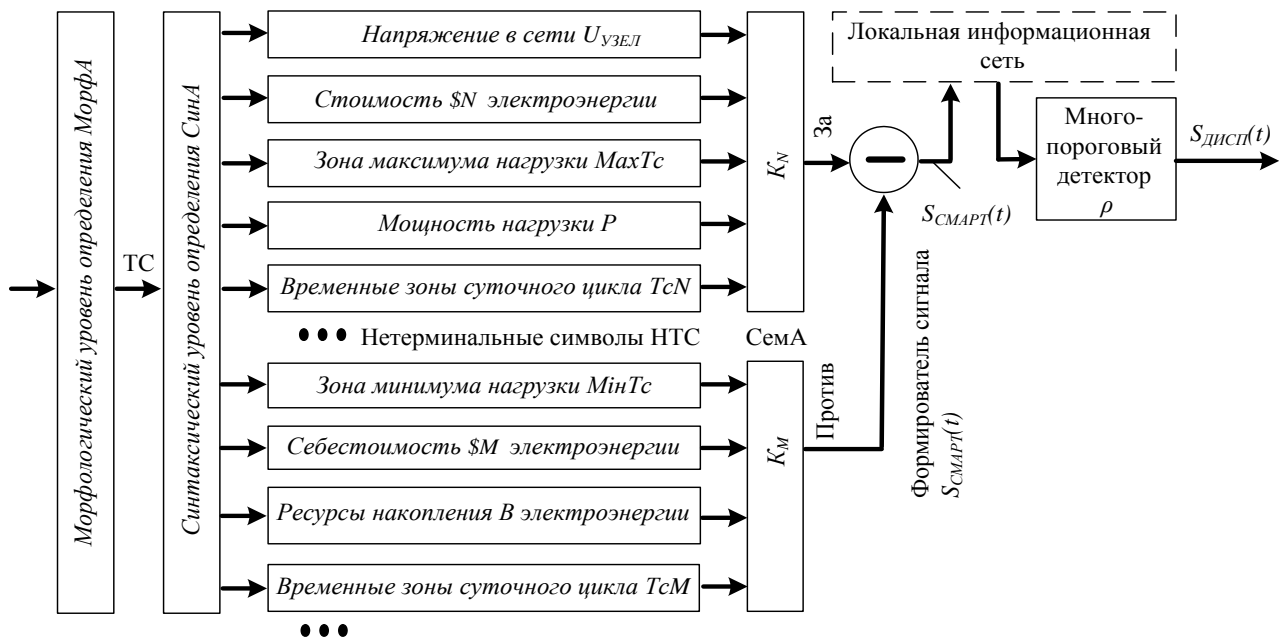


Рисунок 5 – Смарт-детектор блока «Автомат-диспетчер» устройств участка U в системе смарт-грид

Выбор величины порогов контроля ρ_{MAX} , ρ_{MIN} (рис. 6) может выполняться единожды перед началом эксплуатации для каждого устройства участка U , имеющего блок «Автомат-диспетчер», и может корректироваться согласно опыту эксплуатации устройств в конкретной системе СМГР.



Рисунок 6 – Пороги ρ контроля потребления-генерации электроэнергии, устанавливаемые в программно-конфигураторе блока «Автомат-диспетчер» устройств системы смарт-грид

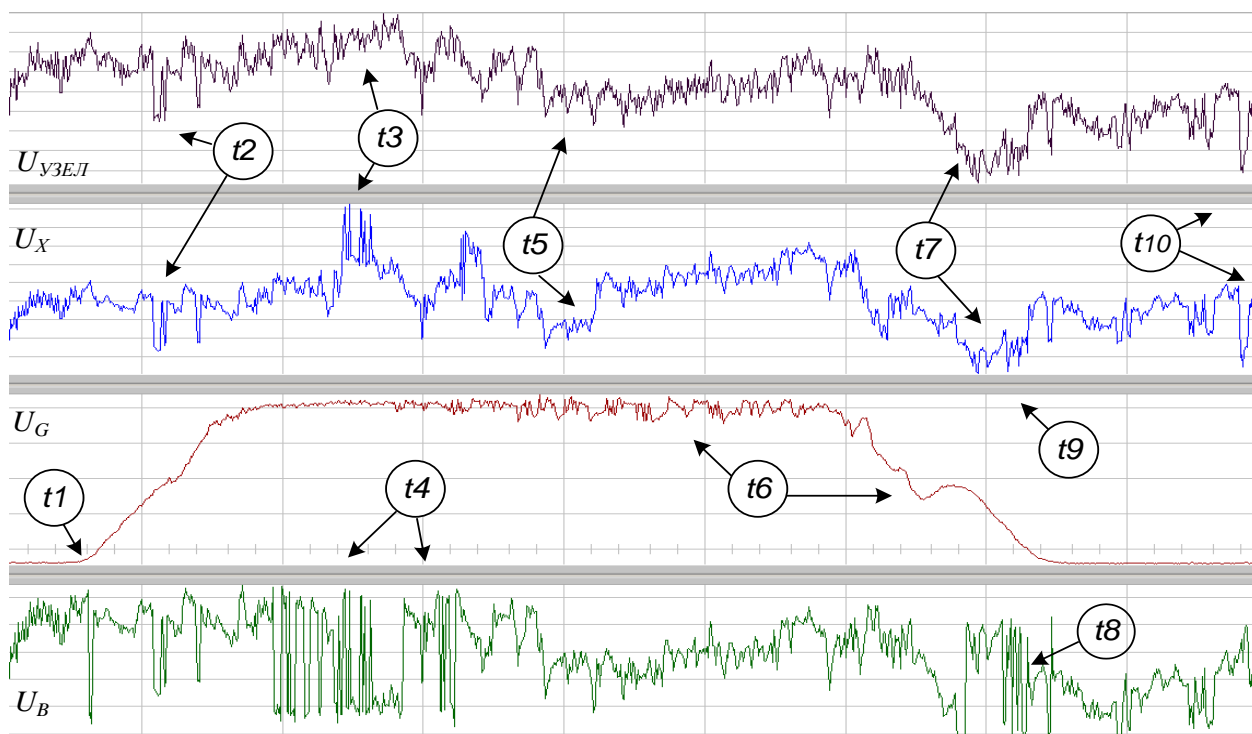
Моделирование работы системы СМГР. На этапе моделирования [3-7] ставится задача синтеза устройств участка U (алгоритма работы, схемы, а так же конструктива и их параметров), поддерживающих оптимальную работу системы СМГР (рис. 1-3). Центральным устройством оказывается блок «Автомат-диспетчер» (рис. 1, 5). Моделирование выполняется на физической [2] и математической моделях [3-7].

Этапы моделирования. На физической модели (согласно рис. 2) определяются общие конструктивные подходы к построению системы СМГР и алгоритмы управления элементами системы СМГР вначале в ручном режиме, а затем после уточнения на математической модели, проверяется работоспособность синтезированных автоматов Морфа, Сина, СемА устройств [4, 5] системы СМГР в реальном масштабе времени. Особое внимание уделяется обеспечению работоспособности системы СМГР в условиях интенсивного влияния потребителей X , приводящих к появлению ПП.

Математическая модель системы СМГР (согласно рис. 1, 2) реализуется в САПР сквозного проектирования «*Matlab-Simulink-Stateflow*» аналогично [4, 5]. Целью сквозного проектирования [3-5] является получение готового продукта в виде программ для микроконтроллеров и ПЛИС устройств системы СМГР. При этом контролируется техническая реализуемость общей задачи с учетом экономических показателей готового продукта. Так же учитываются последующие совершенствование и адаптация полученных устройств. Средства проектирования выбранного САПР позволяют в графической форме реализовать способы динамической обработки ПП в ОУЗ методами технического интеллекта. Математическая модель системы СМГР включает элементы ОУЗ и блока «Автомат-диспетчер». В модель ОУЗ входят задатчик суточного цикла потребления (источник генерации или сигнал $U_{УЗЕЛ}$ традиционной электросети из реального аварийного файла), участок U с потребителем X , генератором G , накопителем B , регулятором Amr (рис. 1, 2). В модель блока «Автомат-диспетчер» включаются согласно СИ-методу элементы морфологического Морфа, синтаксического Сина и

семантического Сема уровней определения смысловой ситуации [3-7]. Сигналы ПП разделяются ТС. ТС состоит из цифровых фильтров и элементов формирования смысловых сигналов $S_{СМАРТ}(t)$, $S_{ДИСП}(t)$ [4, 5]. Приложение «Stateflow», а также элементы логики, фильтрации «Real-Time» позволяют проектировать автоматы A в удобном графическом виде на уровне состояний (ТС, НТС, S - выходной символ) и правил P_N переходов между состояниями. Результатом синтеза является перечень правил P_N .

Результаты физического и математического моделирования представляются в виде «аварийных файлов» сигналов ПП как реакция элементов системы СМГР (рис. 7) и сигналов в контрольных точках блоков «Автомат-диспетчер» устройств участка U (рис. 1, 2) на изменения сигнала $U_{УЗЕЛ}$ суточного цикла источника традиционной электроэнергетики. Визуально контролируются взаимосвязь изменения сигналов $S_{СМАРТ}(t)$, $S_{ДИСП}(t)$ (рис. 3), параметра напряжения U (эквивалентно в данном случае качеству электроэнергии) при реализации заданных критериев оптимальности работы системы СМГР. Накопление альбомов «аварийных файлов» для разных времен суточного цикла T_c потребления источника $U_{УЗЕЛ}$, а так же для всего суточного цикла T_c при сжатии оси времени, позволяет контролировать реализацию критериев оптимальности, находить и алгоритмически устранять случаи конфликтов интересов элементов системы СМГР в цепочке «Генерация-накопление-потребление». Так же формируются «аварийные файлы», при моделировании с сигналами записанными регистратором в реальной системе СМГР.



Суточный ПП 120812. t_1 - начало генерации солнечной батареи G , t_2 – утренний максимум $MaxT_c$ потребляемой мощности P , t_3 - обеденный минимум $MinT_c$, t_4 , t_8 - интенсивный заряд-разряд накопителя B , t_5 - послеобеденный $MaxT_c$, t_6 – переменная облачность, t_7 - вечерний $MaxT_c$, t_9 – неоптимальная работа Amp (регулировка в ручном режиме), t_{10} - ночной $MaxT_c$

Рисунок 7 – Сигналы «аварийного файла» суточного цикла в реальной физической модели системы СМГР

Программа-конфигуратор устройства потребителя X участка U может находиться на ПК потребителя X и после установки порогов ρ (рис. 6) передает через локальную информационную сеть новые значения параметров в устройства СМГР своего потребителя X . Текущие уровни смысловых сигналов $S_{СМАРТ}(t)$, $S_{ДИСП}(t)$ можно контролировать визуально, например, в виде Рис. 8 при реализации блока «Автомат-диспетчер» или иначе в зависимости от элементной базы индикаторов отображения.

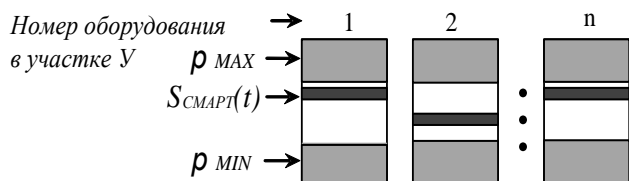


Рисунок 8 – Индикатор контроля текущего уровня смыслового сигнала $S_{СМАРТ}(t)$

Экономические задачи. Среди экономических задач можно выделить абсолютную составляющую (капложения на приобретение оборудования, тариф на покупку «зеленой» электроэнергии и др.) и относительную составляющую (текущие стоимость и себестоимость электроэнергии и др.). Будем рассматривать относительную составляющую. Ввиду универсальности понятия информация, СИ-метода

обработки информации [3-7], теории автоматического управления заменим обозначения на рис. 3-6, составленные исходя из технических задач обозначениями, составленными исходя из экономических задач. Так пороговое значение «Нормальный режим работы» соответствует «Прибыль», ОУЗ – модель стоимостно-мощностных потоков, выход ОУЗ – текущая прибыль и т.д. Составим словесное описание работы такой системы управления по смыслу. Выходной смысловой сигнал ОУЗ «Текущее значение прибыли» (рис. 3) отслеживается смысловым сигналом $S_S(t)$ (рис. 5) и сравнивается с установленным пороговым значением «Прибыль». Отклонения сигнала ошибки $\varepsilon_S(t)$ контролируется многопороговым блоком ρ . Срабатывания порогов ρ оценивается экспертной системой ЭКС и выдается смысловой сигнал $S_{дисп}(t)$ на управление соответствующим ИО (рис. 3, 6) до устранения отклонения выхода ОУЗ от уставки «Прибыль». Моделирование работы такой системы можно выполнить аналогично предыдущему пункту.

Выводы. 1. Ставится и решается задача оптимального построения системы смарт-грид (рис. 1, 2) относительно критериев оптимальности - «Наименьшая цена за электроэнергию в данный момент времени» и «Наименьшая цена за электроэнергию в данный момент времени с отсрочкой потребления на приемлемое время». Предлагается решение поставленной задачи на основе применения в устройствах участка $У$ унифицированного смарт-детектора (рис. 3, 5), который формирует и контролирует смысловой баланс «За-против». В данном применении смарт-детектора смысловой баланс «За-против» соответствует покупке электроэнергии гальванически отделяемым участком $У$ системы СМГР.

2. Предлагается дополнительный блок «Автомат-диспетчер» (рис. 3, 5) к применению в устройствах участка $У$ системы СМГР. Блок реализует режим «Эконом» в зависимости от изменения, введенного в работе, смыслового сигнала $S_{СМАРТ}(t)$. Режим «Эконом» контролирует мощность потребления P электроэнергии нагрузкой X в широком диапазоне значений. Например, от полной мощности потребления P до минимальной и далее, до импульсного способа потребления электроэнергии. Для этого в устройствах участка $У$ используется оперативная регулировка «Максимальное время ожидания». Дополнение устройств системы СМГР блоком «Автомат-диспетчер» увеличивает сложность устройств нагрузки X . Однако позволяет обеспечить работоспособность системы СМГР при использовании маломощных источников G , B электроэнергии или источников с большим внутренним сопротивлением (рис. 1, 2), а так же позволяет обеспечить оптимальность работы устройств цепочки «Генерация-накопление-потребление» в отношении стоимости $\$$ электроэнергии и величины напряжений U в системе СМГР, то есть при соблюдении качества электроэнергии.

3. Моделирование ПП на физической модели системы СМГР показывает целесообразность и возможность применения рассматриваемых алгоритмов, обеспечивающих работоспособность системы СМГР. Эффект «ограничения» потребителя X можно реструктуризировать разделением нагрузки X по категориям потребления следующим образом - А) Без режима «Эконом» (телекоммуникация, компьютеры, автоматическое открывание дверей и др.). Обычно нагрузка X такой категории наиболее многочисленна, но имеет малую мощность P потребления, подключается к источнику бесперебойного питания, то есть к батарее B , имеет собственные способы уменьшения потребления P ; Б) Режим «Эконом с отсрочкой потребления» (стиральные машины, насосы, климат-контроль и др.). Обычно малочисленная группа нагрузки X , работает кратковременно согласно собственным системам управления, но имеет большую мощность потребления P . Время следования сигналов команд управления, выдаваемых собственными системами управления, могут корректироваться «Автомат-диспетчером», встроенным производителями в устройства либо передаваемыми по локальной информационной сети при реализации такого входа в устройствах. При отсутствии соответствующей емкости батареи B нагрузка X подключается либо к Атр (рис. 1, 2), либо к узлу системы СМГР. При необходимости режим «Эконом» может быть отключен. Здесь проявляется один из аспектов смарт-грид с точки зрения человека-потребителя под общим названием «зеленое отношение к зеленой энергии», который широко обсуждается в периодических и специализированных источниках информации; В) Режим «Эконом с уменьшением мощности потребления» (освещение, нагрев воды и др.). Обычно многочисленная группа нагрузки X со средней мощностью потребления P . Имеет возможность применения дополнительных систем регулирования (эффекты «присутствия», «общей освещенности» и др.). Время следования команд, выдаваемых такими системами, может также корректировать «Автомат-диспетчер».

4. ПП (рис. 7), подобные системе СМГР (рис. 1, 2), происходят при эксплуатации сельских, поселковых, разветвленных и длинных линий электропередач с большими внутренним и переходным сопротивлениями, но мощными нагрузками потребления X . При работе таких сетей происходят глубокие изменения напряжения питания $U_{узел}$ (в пределах плюс-минус 1.7 крат), приводящие к нарушениям технологических норм работы нагрузки X . Потребитель вынужден организовывать схему потребления, аналогичную рис. 1, 2. Следовательно, и решения, предложенные в статье, в полной мере относятся к таким сетям.

5. Моделирование показывает, что определяющую роль в системе СМГР имеет накопитель B электроэнергии (рис. 1, 2). При отсутствии накопителя B и недостатке генерирующей мощности G система электроснабжения СМГР вырождается в известную (традиционную). Ввиду ограниченной емкости накопителя B его задачей оказывается перераспределение электроэнергии между «ответственными», но одновременно маломощными потребителями X при сложных или аварийных режимах работы системы СМГР. При большей емкости накопителя B возможно питание нагрузки X при максимуме потребления $MaxTc$ суточного цикла. Для реализации всех задач системы СМГР требуется емкость накопителя B , достаточная для питания всей мощной нагрузки X . Лучшим вариантом является полная автономность участка $У$ системы СМГР, а не только при

MaxTc суточного цикла. Таким образом емкость накопителя B определяет реализуемость системы СМГР на соответствующем классе напряжения сети: до 0.4 кВ, 6-35 кВ, от 110 кВ и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников В.И., Левшов А.В., Сивокобыленко В.Ф. Перспективы развития интеллектуальных энергосистем // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». - Вып. 28. - Харьков, 2010.
2. Левшов А.В. Развитие научных исследований в области интеллектуальных энергосистем // Научные работы Донецкого национального технического университета, № 11(186) – Донецк, 2011 г. - С.241-245.
3. Никифоров А. П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты // Научно-производственный журнал «Техническая электродинамика» и Материалы 10 научно-технической конференции «Проблемы современной электротехники 2010». Часть 2. НАН Украины. Институт электродинамики - Киев, 2010.- С. 73-76.
4. Никифоров А. П. Выбор между "простыми" и "совершенными" конструктивными решениями, которые формируют объект управления и защиты, структурно-лингвистическим методом // Научные работы Кременчугского национального технического университета. Серия: "Электроэнергетика и электротехника" .- 2009.- вып. 8 (140) .- С. 236-240.
5. Никифоров А.П., Никифоров П.Р. Определение поврежденного участка объекта защиты и управления в условиях неопределенности // Материалы 17 международной конференции «Автоматика-2010». Харьковский Нац. университет радиоэлектроники. Харьков, 2010.- С.170-172.
6. Никифоров А.П., Смирнова М.А. Сквозное проектирование экспертных систем терминалов РЗиА на основе многоядерных микроконтроллеров // Научные работы Донецкого национального технического университета, № 11(186) – Донецк, 2011 г. - С.284-290.
7. Никифоров А.П. Моделирование устройств в САПР сквозного проектирования на основе структурно-лингвистического метода // Материалы международной научной конференции «Моделирование 2010». Том 2.– НАН Украины. Институт проблем моделирования им. Г.Е. Пухова - Киев 2010 г. - С.298-307.

Надійшла до редколегії . . . 2012

Рецензент:

А. П. НИКИФОРОВ

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

A. P. NIKIFOROV

State Institution of Higher Education
«Donetsk National Technical University»

Диспетчер смарт-грід в кожному пристрої споживача. Технічні та економічні задачі.

Пропонується опис підходу до аналізу, синтезу та побудови уніфікованої схеми смарт-грід. Підхід заснований на структурно-інформаційному методі. Підхід дозволяє доказово мотивувати подальші кроки в побудові оптимально працюючої схеми смарт-грід, контролювати вирішувальність поставленого завдання. Пропонується уніфікована схема смарт-детектора для уніфікованої смарт-грід мережі на основі якого можна будувати пристрої автоматичної підтримки працездатності та контролю техніко-економічної ефективності роботи смарт-грід.

Ключові слов — смарт-грід, уніфікація, оптимальність, система стабілізації, смисловий детектор, моделювання, перехідний процес, структурно-лінгвістичний метод

Диспетчер смарт-грід в каждом устройстве потребителя. Технические и экономические задачи.

It is proposed description of the approach to the analysis, synthesis and construction of a unified scheme of the smart- grid. The approach is based on the structural-linguistic method, which allows demonstrably motivate further steps in the construction of optimal operating scheme of the smart-grid control solvability of the problem. On the basis of the approach synthesized a unified scheme of the smart-detector based on which one can build a circuit device to maintain efficiency and control of technical and economic effectiveness of smart-grid.

Key words — смарт-грід, унификация, оптимальность, система стабилизации, смысловой детектор, моделирование, переходной процесс, структурно-лингвистический метод



Никифоров Андрей Петрович. 1970 г.р., Украина, закончил ДПИ в 1992 году. Кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций ДонНТУ. Читает дисциплины: «Автоматизация производственных процессов», «Основы релейной защиты и автоматики», «Микропроцессорная релейная защита», «Элементы систем автоматики». Основное направление научной деятельности – Разработка устройств релейной защиты и автоматики, повышение надёжности работы систем электроснабжения собственных нужд электростанций и промышленных предприятий.