

Е.И. Сокол, О.Г. Гриб, С.В. Швец

СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

У статті приділена увага питанням використання сетецентричного підходу при формуванні активно-адаптивної системи оперативного обслуговування елементів енергосистеми в умовах ідеології Smart Grid. Визначений точносний критерій відсіювання варіантів технічної реалізації цієї системи, що реалізує концепцію «обслуговування на основі відклику». Бібл. 8.

Ключові слова: сетецентричне управління, точносний критерій, оперативне обслуговування, елемент технічної реалізації, вихідна змінна підсистеми.

В статье уделено внимание вопросам использования сетецентрического подхода при формировании активно-адаптивной системы оперативного обслуживания элементов энергосистемы в условиях идеологии Smart Grid. Определен точностной критерий отсева вариантов технической реализации этой системы, реализующей концепцию «обслуживания на основе отклика». Библ. 8.

Ключевые слова: сетецентрическое управления, точностной критерий, оперативное обслуживание, элемент технической реализации, выходная переменная подсистемы.

Введение и постановка проблемы. Сегодня в Украине наблюдается возрастающий интерес к интенсивно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению научно-технологического инновационного преобразования электроэнергетики на базе новой концепции Smart Grid. Государственные структуры в большинстве стран рассматривают Smart Grid как идеологию национальных программ развития электроэнергетики, энергетические компании – как базу для обеспечения устойчивой инновационной модернизации своей деятельности [1-3].

Вместе с тем, целый ряд проблем совершенствования управления энергосистемой, учитывающий современный опыт реформирования энергетики, разработан недостаточно [4]. Развитие комплексной концепции формирования адаптивного управления структурой энергосистемы и информационно-интеллектуальных основ повышения эффективности управленческих технологий в рамках обеспечения клиенто-ориентированного подхода в концепции Smart Grid является важной и актуальной проблемой реформ в энергетике Украины.

Анализ последних исследований и публикаций. Технология Smart Grid способствует созданию такой энергосистемы следующего поколения, которая позволит предприятиям электроэнергетики эффективно управлять производством и потреблением электроэнергии. Интеллектуальная электросеть – это система доставки электроэнергии от генерирующих энергию предприятий до потребителей, интегрированная с коммуникационными и информационными технологиями и обеспечивающая улучшенную прозрачность функционирования энергосистемы, качественное обслуживание заказчиков и предоставляющая экологические преимущества [5].

Несмотря на то, что понятие интеллектуальная электросеть может толковаться по-разному, очевидно, что интеллектуальная коммуникационная сеть является основой интеллектуальной энергосистемы. Предприятия электроэнергетики вкладывают средства в коммуникационные сети для улучшения

ситуационной осведомленности о ресурсах энергосистемы с целью автоматизации, интеграции систем и управления ими [6].

Ценность интеллектуальной энергии заключается в том, что предприятия электроэнергетики смогут «сгладить» потребность в электроэнергии в моменты максимальной нагрузки, отказаться от использования горячих резервов и снизить потребность в долгосрочных капиталовложениях в создание дополнительных генерирующих предприятий, а также сократить необходимость других инвестиций, например в реорганизацию системы для повышения производительности [7].

Платформу усовершенствованной энергосистемы составляют интеллектуальные элементы, находящиеся на уровне цифровых технологий, которые предприятия электроэнергетики добавляют в традиционную и современную аналоговую инфраструктуру энергетической системы.

В современных энергосистемах наиболее остро стоит проблема обеспечения надежности, безопасности и экономичности энергоустановок на основе организации оперативного управления. Целью этого процесса является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией надлежащего качества, включая задание суточных графиков работы электростанций, ведение текущих режимов, вывод оборудования в ремонт и ликвидацию аварийных состояний энергосистемы [8]. Развитие методов оптимизации позволит решить важную задачу оптимальной организации системы оперативного обслуживания энергосистемы и управления ее структурой как составляющей оперативного управления в рамках клиенто-ориентированного подхода концепции Smart Grid.

Цель исследований – разработка точностных критериев отбора вариантов технической реализации эффективной активно-адаптивной системы оперативного обслуживания элементов энергосистемы в условиях сетецентрического управления.

© Е.И. Сокол, О.Г. Гриб, С.В. Швец

Основные материалы исследований. В развитии энергосистем наблюдается их эволюция от простейших форм, использующих элементарные сетевые технологии и копирующих традиционные модели информационных взаимодействий в энергетике, к более сложным формам в рамках концепции Smart Grid с элементами сетецентрического характера. Это направление основывается на интернет-технологиях последнего поколения, и реализуют модели энергетической деятельности, которые прежде не могли быть реализованы. Существующие научные разработки в этой области пока не сформировали комплексной модели обеспечения безопасности функционирования многоуровневой совокупности программно-технических комплексов оперативно-диспетчерского и автоматического управления энергосистемами с гибкими управляемыми элементами интеллектуальной (активно-адаптивной) сети с увеличением объемов автоматизации и повышением количественных и качественных характеристик сбора, обработки, хранения, распределения информации.

Применительно к энергетике сетецентризм применяется в качестве термина, связанного с оперативным управлением энергосистемой в едином информационно-коммуникационном управленческом пространстве, рассматривающем объединение разнородных объектов, действующих как системным, так и дискретным образом как неких распределенных сегментов единой управленческой сети. В данном случае сетецентричность – принцип организации системы оперативного управления энергосистемой, позволяющий реализовать режим ситуационной осведомленности благодаря формированию и поддержанию единой для всех ярусов управления целостной, контекстной информационной среды и включения в процесс ее непрерывной актуализации возможно большего числа источников первичной информации.

Сетецентрический подход построения информационной системы в электроэнергетике должен быть основан на создании равноправных территориально-распределенных узлов, выполняющих различные функции, и предоставляющий пользователям возможность работы с приложениями и базами данных с помощью браузера из любого места и с любого устройства, подключенного к глобальным телекоммуникационным сетям. Сетецентрическая система должна позволять связывать в единый интерфейс системы и базы данных управления, мониторинга и выработки управляющих решений для их использования различными программными приложениями независимо от местоположения объектов и субъектов управления.

Украинская информационная система требует более высокого уровня структурно-параметрической организации элементов энергосистемы и должна развиваться на основе принципов функционирования больших систем. Однако это требует перестройки не только присоединяемых локальных элементов энергосистемы, но и всей глобальной информационной сети (совокупности распределенных энергетических объектов).

Решение задачи осложняет наличие слабых и в то же время протяженных информационно-управленческих связей на больших территориях, что ограничивает возможность сбора и анализа больших потоков информации. То есть в нашей стране, ее регионах и городах требуется технико-организационное обеспечение качественно нового уровня структурно-параметрической организации элементов энергосистем, в том числе с учетом перспективных задач развития.

Принимая во внимание вышесказанное, в рамках совершенствования структурно-параметрической организации энергосистем на основе активно-адаптивных электрических сетей как основной сетевой инфраструктуры новой электроэнергетики необходимо предусмотреть:

- создание единой адаптивной информационно-управленческой сети в рамках интеллектуальной электроэнергетической системы Украины, в целях устойчивого достижения намеченных стратегических показателей развития электроэнергетики;

- развитие, интеграцию и обеспечение доступности отраслевых баз данных на основе собранной информации и внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей;

- разработку и внедрение комплекса информационного мониторинга, позволяющего планировать и распределять ресурсы по поставленным задачам, а также обеспечивать контроль над достижением результатов с учетом приоритетов территориального управления;

- определение условий, общих принципов, методик регулирования энергетического рынка на основе «Smart Grid – возможностей», обеспечивающих высокую результативность государственного регулирования и рыночного саморегулирования – на базе интеллектуальной электроэнергетической системы Украины с активно-адаптивной сетью энергосистем, позволяющих решать задачи внедрения новых рыночных отношений организационно-хозяйственного характера, включая новые форматы действий энергетических потребителей;

- внедрение механизмов обратной связи между органами государственного управления и энергетическими компаниями на основе принципиально нового класса распределенных интеллектуальных управленческих сред на основе Smart Grid и соответствующих организационных изменений методов управления.

Конкретное внедрение принципа сетецентризма в структурно-параметрическую организацию элементов энергосистем предусматривает выполнение определенных условий. Первое условие – это, прежде всего, наличие устойчивого типа связи у руководителя любого ранга в любой точке, где бы он ни находился в данный момент. Второе условие – должна существовать возможность доступа к информации отклика энергосистемы на текущие изменения ее состояния под воздействием различных факторов. Следующее условие – возможность

повторного воспроизведения для анализа указаний и принятия необходимых решений, для отображения полученной информации в виде различных приложений. Одним словом, информация о состоянии энергосистемы должна быть представлена в виде, удобном для анализа, распознавания, передачи, распределения и хранения.

Сетецентрическая система управления с развитием технической составляющей общих процессов постоянно совершенствуется и развивается. Нужно отметить, что сетецентрической системы управления в полном объеме нет, а есть только элементы этой системы, но они постоянно совершенствуются.

Специфика организации оперативного управления энергосистем подразумевает наличие адаптивного оперативного обслуживания. Среди мероприятий оперативного обслуживания энергосистемы следует выделить комплекс работ по ведению требуемого режима работы элементов энергосистемы, производству переключений, осмотров оборудования, подготовке к производству ремонта, техническому обслуживанию оборудования.

Внедрение сетецентрических принципов управления энергосистемой позволит построить адаптивное оперативное обслуживание на основе концепции «обслуживания системы на основе отклика» (ОСО). Реализация концепции ОСО направлена на обслуживание конкретного объекта (цифровой подстанции, линии электропередачи, подсистемы мониторинга состояния элементов энергосистемы и т.д.), находящегося в конкретном районе и в конкретное время, и который в настоящий момент требует оперативного обслуживания в соответствии с откликом энергосистемы.

Техническая реализация эффективной активно-адаптивной системы оперативного обслуживания энергосистемы (СОЭ), построенной на принципах сетецентризма, базируется на превосходстве систем связи, позволяющих в реальном масштабе времени получать и передавать огромными пакетами информацию различным потребителям, включая централизованную и распределенную передачу. Особенность данной системы заключается еще и в том, что информация висит в системе, и это позволяет обращаться к ней без дополнительных затрат времени.

Система управления, реализуемая в СОЭ, должна базироваться на разработанных и внедренных в практику программных продуктах на интеллектуальном уровне, так называемых единых расчетных моделях (задачах) объединенных в единую систему.

Эти составляющие являются основой постановки задачи на разработку сетецентрической СОЭ и являются краеугольным камнем сетецентризма. В единой совокупности при синтезе СОЭ идут исполнительные цифровые элементы, средства связи, способы и формы применения СОЭ.

Воплощение сетецентрической концепции ОСО в предлагаемой СОЭ неразрывно связано с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – квадрокоптера. Это продиктовано быстрым

развитием различных методов диагностики энергетического оборудования, как силового, так и коммутирующего, и оборудования управления и защит в связи с высокой стоимостью прямых и косвенных потерь в результате возникновения аварий.

Развитие современных методов диагностики позволяет с высокой степенью вероятности определить реальное состояние оборудования и спрогнозировать его изменение в ближайшее время. Однако, современная диагностическая аппаратура очень дорога, что затрудняет комплектацию ею каждого объекта. Следует отметить, что правильная организация работ позволяет значительно снизить затраты на диагностику.

Примером такой организации может стать внедрение специальной СОЭ, имеющей в своем составе БПЛА для проведения тепловизионного обследования оборудования подстанций, оптического контроля опорно-стержневой и подвесной изоляции, обследования технического состояния автотрансформаторов и трансформаторов и ряда других работ.

Наличие БПЛА предопределяет способы формирования управленческих решений относительно адаптации структуры энергосистемы к результатам деятельности СОЭ в рамках концепции ОСО. Отсев допустимых вариантов подразумевает применение теории многокритериальной оптимизации с позиции дискретного программирования. Число возможных вариантов обычно достаточно велико и выбрать приемлемое решение путем прямого перебора достаточно сложно. Определим основные положения процедуры отсева вариантов построения СОЭ, которая реализует управленческие решения в рамках принятой ОСО.

Основу данной процедуры составляет алгоритм оценки вариантов СОЭ по критерию точности. В нашем случае именно понятие точности является весьма важным при принятии управленческих решений, так как использование БПЛА в качестве источника информации о состоянии элементов энергосистемы вносит некоторую степень неопределенности.

Точность функционирования СОЭ в целом будем оценивать по значениям величин отклонений выходных переменных от заданных программных значений подсистем n -го уровня, вычисленных в соответствии с уравнениями их состояния в момент времени $t_n + 1 = T$:

$$\Delta y_{nh}^{h\alpha}(v_i) = \left| y_{nh}^{h\alpha}(v_i)_T - y_{nh(0)}^{h\alpha}(T) \right|,$$

$$(h \in I_n, \alpha = 1, \dots, \alpha_{nh}^h),$$

где $y_{nh}^{h\alpha}(v_i)_T$ – значение α -й компоненты выходной переменной h -й подсистемы n -го уровня СОЭ в момент времени T для варианта $v_i \in V$; $y_{nh(0)}^{h\alpha}(T)$ – заданное программное значение выходной переменной подсистемы n -го уровня СОЭ; $\Delta y_{nh}^{h\alpha}(v_i)$ – величина отклонения выходной переменной подсистемы n -го уровня СОЭ.

При этом множество вариантов технической реализации проектируемой СОЭ определяется как:

$$V = \{v_i\} = \prod_{i=1}^M V_i.$$

Значения выходных переменных подсистем n -го уровня СОЭ зависят от видов законов управления, определяемых стратегией ОСО; от точностных характеристик элементов технической реализации соответствующего закона управления, определяемых множеством I_n (для $h \in I_n$) подсистем n -го уровня СОЭ; выходных переменных $y_{n-k} = (t_n)$ подсистем $n-k$ -ых уровней $\forall k \in K_{nh}$. Переменные $y_{n-k} = (t_n)$ также зависят от точностных характеристик элементов технической реализации закона управления подсистемы $n-k$ -го уровня выходных переменных предшествующего уровня СОЭ. Поэтому точность функционирования всей системы в целом зависит от работы подсистем всех уровней, т.е. от вариантов множества V .

Возможны два случая оценки точностной характеристики системы: первый – когда необходимо найти вариант системы $v_i \in V$, минимизирующий величину $\Delta y_{nh}^{h\alpha}(v_i)$, второй – когда эта величина не должна быть больше заданной:

$$\Delta y_{nh}^{h\alpha}(v_i) \leq \varepsilon_{nh}^{h\alpha}, \quad (h \in I_n, \alpha = 1, \dots, \alpha_{nh}^h), \quad (1)$$

где $\varepsilon_{nh}^{h\alpha}$ – неотрицательная величина, характеризующая степень близости α -й выходной координаты h -й подсистемы n -го уровня СОЭ и ее программного значения.

Более подробно рассмотрим второй случай, так как при проектировании обычно задаются некоторые ограничения на компоненты выходных переменных подсистем, функционирующих на последнем промежутке времени.

Пусть каждый q -й тип элементов технической реализации СОЭ характеризуется номинальным значением параметра p_q^0 и множеством $\Delta p_{q(\zeta_q)}$ ($\zeta_q \in 1, \dots, \zeta_q^0$) возможных вариантов этого параметра, определяемых различными модификациями множества $E_q(\Delta p_q) = \{\Delta p_{q(\zeta_q)} \forall \zeta_q \in 1, \dots, \zeta_q^0\}$. Тогда отдельному варианту реализации СОЭ будет соответствовать таблица заданных погрешностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p_{1(1)}, \dots, \Delta p_{1(\zeta_1)}, \dots, \Delta p_{1(\zeta_1^0)} \\ \dots \\ \Delta p_{q(1)}, \dots, \Delta p_{q(\zeta_q)}, \dots, \Delta p_{q(\zeta_q^0)} \\ \dots \\ \Delta p_{m(1)}, \dots, \Delta p_{m(\zeta_m)}, \dots, \Delta p_{m(\zeta_m^0)} \end{array} \right\}.$$

Обозначим вектор параметров размерности $q_{il}(\zeta_i)$ через

$$p_{il}(\zeta_i) = \{p_q^0 \pm \Delta p_q \forall q \in I_{il}(\zeta_i)\},$$

соответствующий элементам технической реализации СОЭ множества $I_{il}(\zeta_i)$ для закона управления $u_{il}(\zeta_i)$.

Решение системы дифференциальных уравнений для l -й подсистемы i -го уровня запишем в виде:

$$y_{il}^j(t, v_j^{il}) = F_{il}^j(\zeta_i)(u_{il}(\zeta_i)(t), p_{il}(\zeta_i), y_{il}^j(0)) \quad (2)$$

$$(k \in K_{il}, q \in I_{i-k}^l),$$

где через v_j^{il} обозначена часть варианта $v_j \in V$, от которого зависит значение выходной переменной l -й подсистемы i -го уровня; $y_{il}^{j\alpha} = y_{i-k,q}^{l\alpha}(t_i)$ ($k \in K_{il}$) – начальные условия для исходных дифференциальных уравнений, являющиеся значениями выходных переменных подсистемы $i-k$ -ых уровней $\forall k \in K_{il}$, связанных l -й подсистемой i -го уровня ($\alpha = 1, \dots, \alpha_{il}^j$); $F_{il}^j(\zeta_i)$ – векторная функция, компоненты которой есть непрерывные функции своих аргументов, принадлежащие классу задач дискретной оптимизации.

Компоненты векторной функции $F_{il}^j(\zeta_i)$ имеют отличные от нуля первые производные в некоторой окрестности точки $(y_{i-k,q}^{l\alpha}(t_i), p_{il}(\zeta_i)(0))$, определяемой номинальными значениями параметров и начальных условий. Необходимо из множества возможных вариантов создания СОЭ $v_i \in V$, которые характеризуются как видами законов управления в каждой из подсистем, так и погрешностями элементов технической реализации, отобрать такие, которые удовлетворяют критерию (1).

Непосредственное построение всех вариантов множества V с оценкой их по точностному критерию (1) приводит к необходимости интегрировать систему исходных дифференциальных уравнений и получать решения типа (2) для всех подсистем. Это связано с большим объемом вычислений, что не позволяет выбрать приемлемый вариант системы в заданные сроки. В связи с этим возникает необходимость разработки правил предварительного отсева как видов законов управления в соответствии со стратегией ОСО, так и элементов технической реализации СОЭ. Это связано с необходимостью декомпозиции требований на всю систему в целом, определяемых соотношением (1), к требованиям на отдельные подсистемы вида:

$$\Delta y_{il}^{j\alpha} = \left| y_{il}^{j\alpha}(v_j^{il}) \Big|_{t_{i+1}} - y_{il}^{j\alpha}(t+1) \right| \leq \varepsilon_{il}^{j\alpha}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{il}^{j\alpha}$ – степень близости α -й компоненты выходной переменной l -й подсистемы i -го уровня; $y_{il}^{j\alpha}(v_j^{il}) \Big|_{t_{i+1}}$ – определяется из уравнений, описывающих поведение l -й подсистемы i -го уровня.

Для такой декомпозиции необходимо получить соотношения, связывающие точность функционирования отдельной подсистемы с вариациями параметров ОСО, а также с точностными характеристиками подсистем нижних уровней, влияющих на эту подсистему.

Для того чтобы выходные переменные каждой l -й подсистемы i -го уровня, описываемые векторной функцией, компонентами которой являются

непрерывно дифференцируемые выпуклые или вогнутые функции, определенные на некотором множестве параметров $P_{il}(\zeta_l)$ и начальных условий

$y_{il}^j(0)$, удовлетворяли ограничениям вида (3), достаточно, чтобы отклонения вектора параметров и начальных условий от номинальных значений

$$P_{il}(\zeta_l)(0) = \{P_{il}^q(\zeta_l)(0)\} \quad (q = 1, \dots, q_{il}(\zeta_l)),$$

$$y_{il}^j(0) = \{y_{il}^{j\alpha}(0)\} \quad (\alpha = 1, \dots, \alpha_{il}^j),$$

удовлетворяли неравенствам

$$\Delta p_{il}^q(\zeta_l) = |P_{il}^q(\zeta_l) - P_{il}^q(\zeta_l)(0)| \leq \varepsilon_{il}^q(\zeta_l); \quad (q = 1, \dots, q_{il}(\zeta_l)),$$

$$\Delta y_{il}^{j\alpha} = |y_{il}^{j\alpha} - y_{il}^{j\alpha}(0)| \leq \varepsilon_{il}^{j\alpha}; \quad (\alpha = 1, \dots, \alpha_{il}^j),$$

где $\varepsilon_{il}^q(\zeta_l); (q = 1, \dots, q_{il}(\zeta_l))$ и $\varepsilon_{il}^{j\alpha}; (\alpha = 1, \dots, \alpha_{il}^j)$ – принадлежат области:

$$D_{il}(\zeta_l) = \bigcap_{\alpha=1}^{\alpha_{il}^j} D_{il}^{\alpha}(\zeta_l),$$

в которой $D_{il}^{\alpha}(\zeta_l)$ – выпуклая область пространства переменных $\Delta p_{il}(\zeta_l)$ и $\Delta y_{i-k,q}^p$, образованная пересечением $2^{\alpha_{il}^j + q_{il}(\zeta_l)}$ полупространств:

$$\sum_{q \in J_{il}(\zeta_l)} \frac{\Delta p_q}{\delta_{il}^{\alpha q}(\zeta_l)} + \sum_{q \in I_{i-k}^{\alpha}(\zeta_l)} \sum_{\lambda=1}^{\alpha_{i-k,q}^{\lambda}} \frac{\Delta y_{i-k,q}^{\lambda}}{\delta_{il}^{\alpha \lambda}(\zeta_l)} \leq 1,$$

$$\sum_{q \in J_{il}(\zeta_l)} \frac{\Delta p_q}{\gamma_{il}^{\alpha q}(\zeta_l)} + \sum_{q \in I_{i-k}^{\alpha}(\zeta_l)} \sum_{\lambda=1}^{\alpha_{i-k,q}^{\lambda}} \frac{\Delta y_{i-k,q}^{\lambda}}{\gamma_{il}^{\alpha \lambda}(\zeta_l)} \leq 1.$$

Здесь

$$\delta_{il}^{\alpha r}(\zeta_l) = \begin{cases} \tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l), & \text{if } y_{r(+)}^{\alpha} \leq y_{il(0)}^{j\alpha} + \varepsilon_{il}^{j\alpha}, \\ \tilde{\gamma}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l) = \frac{\varepsilon_{il}^{j\alpha} \tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)}{y_{il(0)}^{j\alpha} - y_{r(+)}^{\alpha}}, & \\ \text{if } y_{r(+)}^{\alpha} > y_{il(0)}^{j\alpha} + \varepsilon_{il}^{j\alpha}, & \end{cases} \quad (5)$$

а величина $\gamma_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)$ определяется как:

$$\gamma_{il}^{\alpha r}(\zeta_l) = \begin{cases} -\delta_{il}^{\alpha r}(\zeta_l), & \text{if } y_{r(-)}^{\alpha} \leq y_{il(0)}^{j\alpha} + \varepsilon_{il}^{j\alpha}, \\ \frac{\varepsilon_{il}^{j\alpha} \tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)}{y_{r(-)}^{\alpha} - y_{il(0)}^{j\alpha}}, & \text{if } y_{r(-)}^{\alpha} > y_{il(0)}^{j\alpha} + \varepsilon_{il}^{j\alpha}, \end{cases} \quad (6)$$

$$\tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l) = -\frac{\varepsilon_{il}^{j\alpha}}{h_{il}^{\alpha r}}, \quad (7)$$

$$y_{r(+)}^{\alpha} = y_{il}^{j\alpha}(P_{1(0)}, \dots, P_{r-1(0)}, P_r + \tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l), P_{r+1(0)}, \dots, y_{il}^j(0)) \quad \forall r \in 1, \dots, q_{il}(\zeta_l) + \alpha_{il}^j, \quad (8)$$

$$y_{r(-)}^{\alpha} = y_{il}^{j\alpha}(P_{1(0)}, y_{il}^{j1}(0), \dots, y_{il}^{j,r-1}(0), y_{il}^{jr}(0) - \tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l), y_{il}^{j,r+1}(0), \dots) \quad \forall r \in 1, \dots, q_{il}(\zeta_l) + \alpha_{il}^j, \quad (9)$$

$$h_{il}^{\alpha r} = \left. \frac{\partial y_{il}^{j\alpha}}{\partial p^r} \right|_0 \quad \forall r \in 1, \dots, q_{il}(\zeta_l) + \alpha_{il}^j. \quad (10)$$

Системы неравенств (4) строятся путем последовательной замены в первом неравенстве величины δ на величину γ вначале в одном члене, затем в двух и т.д. Через величину $y_{r(+)}^{\alpha}$ обозначены значения выходной переменной, когда значения параметров или начальных условий увеличены на величину $\tilde{\delta}_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)$, а $y_{r(-)}^{\alpha}$ – уменьшены на эту же величину. Через $h_{il}^{\alpha r}$ обозначены функции чувствительности выходных переменных по параметрам и начальным условиям в номинальных точках.

Область $D_{il}(\zeta_l)$ допустимых вариаций параметров и начальных условий рассмотрим в положительном органте (из-за симметричной формы задания ограничений на вариации параметров $\Delta p_{il}(\zeta_l)$ и начальных условий $\Delta y_{il}^j(0)$). Она определяется неравенствами (4) и запишется в виде:

$$D_{il}(\zeta_l) = \bigcap_{\alpha=1}^{\alpha_{il}^j} D_{il}^{\alpha}(\zeta_l),$$

где

$$D_{il}^{\alpha}(\zeta_l) : \sum_{q \in J_{il}(\zeta_l)} \frac{\Delta p_q^{\alpha}(\zeta_l)}{a_{il}^{\alpha q}(\zeta_l)} + \sum_{\lambda=1}^{\alpha_{il}^j} \frac{\Delta y_{il}^{j\lambda}}{a_{il}^{\alpha \lambda}(\zeta_l)} \leq 1,$$

$$a_{il}^{\alpha r}(\zeta_l) = \min\{|\delta_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)|, |\gamma_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)|\}; \quad (r = 1, \dots, q_{il}(\zeta_l) + \alpha_{il}^j),$$

а величины $\delta_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)$ и $\gamma_{il}^{\alpha r}(\zeta_l)$ определяются соотношениями (5), (6).

На основе приведенных соотношений сформируем условие отсева вариантов СОЭ для действующей ОСО.

Если закон управления $u_{i-k,q}(\zeta_l)$ q -й подсистемы $i-k$ -го уровня при номинальных значениях параметров приводит к таким вариациям выходных переменных $\Delta y_{i-k}^l(\zeta_l)$, которые не принадлежат области:

$$D_{il}^{(0)} = \bigcup_{\zeta_l=1}^{\xi_{il}} D_{il}(\zeta_l),$$

при минимальных вариациях параметров законов управления $u_{il}(\zeta_l) \in U_{il}$, т.е.:

$$\Delta y_{i-k}^l(\zeta_l) \notin D_{il}^{(0)} = \bigcup_{\zeta_l=1}^{\xi_{il}} D_{il}(\zeta_l) | \Delta p_{il}(\zeta_l)_{\min}, \quad (11)$$

то он не будет образовывать вариантов системы с законами управления из множества U_{il} , удовлетворяющими неравенству (3).

Выводы. Таким образом, в условиях сетечестрической организации управления оперативного обслуживания энергосистемы отсева

вариантов подсистем i - k -го уровня $\forall k \in K_{il}$ при проверке условия (11) позволяет получить максимальное число принципиально возможных вариантов создания СОЭ с учетом принятой ОСО за счет сужения множества вариантов технической реализации l -й подсистемы i -го уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid – Концептуальные положения // Энергорынок. – 2010. – №3(75) – С. 67-72.
2. Шидловський А.К., Випанасенко С.І., Ворохов Л.П. Тенденції розвитку енергетики України: Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 104 с.
3. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Рибіна О.Б., Баталов А.Г. Перспективи інтеграції ОЕС України в європейську систему УСТЕ // Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2006. – Ч.1. – С. 63-68.
4. Бойцов Ю.А., Васильев А.П. Решение задачи рациональной организации системы оперативного обслуживания электрических сетей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1-2. – С. 56-63.
5. Бурмистров В.Н., Дрогунов С.В. Перспективные инновационные направления развития энергетики // Электрика. – 2011. – №5. – С. 9-12.
6. Massel L.V., Ivanov R.A. Possibility of application of situational awareness in energy research / Proceedings of the Workshop on Computer Science and Informational Technologies (CSIT-2010), Russia, Moscow – St.Petersburg, 13-19 September, 2010. – vol.1, Ufa State Aviation Technical University, 2010. – pp. 185-187.
7. Новини та пріоритети розвитку енергетики: дайджест // Новини енергетики. – 2005. – № 9. – С. 50.
8. Титов Н.Н. Повышение надежности и качества функционирования автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетическими системами. – Х.: Факт, 2013. – 200 с.

REFERENCES

1. Kobets B.B., Volkov I.O. Smart Grid – Conceptual provisions. *Energorynok – Energy Market*, 2010. no.3(75), pp. 67-72. (Rus).
2. Shidlovskii A.K., Vypanasenko S.I., Vorohov L.P. *Tendentsiyi rozvytku enerhetyky Ukrayiny* [Trends in Energy Ukraine]. Donetsk, National Mining University Publ., 2005. 104 p. (Ukr).
3. Kirilenko O.V., Denysyuk S.P., Rybina O.B., Batalov A.G. Features Integration of IPS Ukraine into the European system USTE. *Tekhnichna elektrodynamika. Tem. vypusk «Silova elektronika i energoefektivnist» – Technical electrodynamics. Thematic issue «Power electronics & energy efficiency»*, 2006, vol.1, pp. 63-68. (Ukr).
4. Bojtsov Y.A., Vasiljev A.P. The solution of a problem of rational architecture of system of operative service of electrical networks. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki – Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems*, 2008, no.1-2, pp. 56-63. (Rus).
5. Burmistrov V.N., Drogunov S.V. Perspective innovative directions of development of power. *Elektrika – Electrics*, 2011, no.5, pp. 9-12. (Rus).
6. Massel L.V., Ivanov R.A. Possibility of application of situational awareness in energy research. *Proceedings of the Workshop on Computer Science and Informational Technologies (CSIT-2010)*, Russia, Moscow – St.Petersburg, 13-19 September, 2010. Vol.1, Ufa State Aviation Technical University, 2010. pp. 185-187.
7. News and priorities of energy: Digest. *Novyny enerhetyky – News energy*, 2005, no.9, p. 50. (Ukr).

8. Titov N.N. *Povyshenie nadezhnosti i kachestva funkcionirovaniia avtomatizirovannykh sistem dispetcherskogo upravleniia elektroenergeticheskimi sistemami* [Increase of reliability and quality of functioning of the automated systems of dispatching management of electrical power systems]. Kharkiv, Fact Publ., 2013. 200 p. (Rus).

Поступила (received) 29.03.2016

Сокол Евгений Иванович¹, д.т.н., проф.,
Гриб Олег Герасимович¹, д.т.н., проф.,
Швец Сергей Викторович², к.т.н., доц.,
¹ Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,
² Харьковский национальный университет
городского хозяйства им. А.Н. Бекетова,
61002, Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17,
тел/phone +38 067 7680838, e-mail: se_sx@bk.ru

Ye.I. Sokol¹, O.G. Gryb¹, S.V. Shvets²

¹ National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

² O.M. Beketov National University of Urban Economy
in Kharkiv,
17, Marshal Bazhanov Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Network centrism optimization of expeditious service of elements of the power supply system.

Purpose. Development of precision selection criteria of options of technical realization of effective active and adaptive system of expeditious service of elements of a power supply system in the conditions of network-centric management. **Methodology.** In development of power supply systems their evolution from the elementary forms using elementary network technologies and models of interactions in power to more irregular shapes within the concept of Smart Grid with elements of network-centric character is observed. This direction is based on Internet-technologies of the last generation, and realize models of power activity which couldn't be realized before. **Results.** The number of possible options of active and adaptive system of expeditious service of elements of a power supply system is usually rather big and it is difficult to choose the acceptable option by direct search. Elimination of admissible options of the technical realization constructed on the principles of a network centrism means application of the theory of multicriteria optimization from a position of discrete programming. The basis of procedure of elimination is made by algorithm of an assessment of system by criterion of accuracy. **Originality.** The case of an assessment of the precision characteristic of system at restrictions for the set accuracy is connected with need of decomposition of requirements of all system in general and on separate subsystems. For such decomposition the ratios connecting the accuracy of functioning of a separate subsystem with variations of parameters of all system, and also with precision characteristics of subsystems of the lower levels influencing this subsystem are received. **Practical value.** In the conditions of the network-centric organization of management of expeditious service of elements of a power supply system elimination of options of subsystems when using precision criterion allows to receive the maximum number of essentially possible options of system of service taking into account the accepted service strategy. References 8.

Key words: network-centric managements, precision criterion, expeditious service, element of technical realization, output variable of a subsystem.