

УДК 519.2: 658.5.011

С. В. ШЕВЧЕНКО

О ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ЗАДАЧ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Розглядаються структура і зміст основних задач інтелектуальної системи управління в електроенергетичній системі. Використовується ієрархія функцій управління, виділені цілі рівнів управління, на основі яких можуть бути побудовані задачі управління та функціональні підсистеми, що забезпечують їх рішення. Ідентифікація функціональних залежностей задач управління, координація та узгодження умов їх спільного вирішення можуть бути використані для побудови і вдосконалення інтелектуальної підсистеми управління електроенергетичною системою та їх об'єднаннями.

Ключові слова: електроенергія, енергосистема, завдання управління, критерій, модель, оптимізація, підсистема управління.

Рассматриваются структура и содержание основных задач интеллектуальной системы управления в электроэнергетической системе. Используется иерархия функций управления, выделены цели уровней управления, на основе которых могут быть построены задачи управления и функциональные подсистемы, обеспечивающие их решение. Идентификация функциональных зависимостей задач управления, координация и согласование условий их совместного решения могут быть использованы для построения и совершенствования интеллектуальной подсистемы управления электроэнергетической системой и их объединениями.

Ключевые слова: электроэнергия, энергосистема, задачи управления, критерий, модель, оптимизация, подсистема управления.

Market relations in electric power industry define necessity of operative decision-making in the conditions of unpredictable changes of an environment and the concomitant factors influencing processes of manufacture of the electric power, its distribution and use. The structure and the maintenance of the primary goals of an intellectual control system in a power system is considered. The hierarchy of functions of management is used, the purposes of levels of management on which basis problems of management and the functional subsystems providing their decision can be constructed are allocated. Identification of functional dependences of problems of management, coordination and the harmonization of conditions of their joint decision can be used for construction and improvement of an intellectual subsystem of management by a power system and their associations. All problems of management can be distributed on several levels of hierarchy, creating conditions for perfection and development of a subsystem of management. Intellectuality of subsystems of management SMART GRID is supported by possibilities of the account of various situations and events which can arise in practice, and its efficiency - efficiency of acceptance adequate decisions. In job the structure and the maintenance of problems of intellectual control systems in a power system, and also questions of expansion of their structure and formalization of conditions of the decision for increase of general efficiency of management is considered.

Keywords: electricity, power system, control objectives, criteria, model, optimization, management subsystem.

Введение. Рыночные отношения в электроэнергетике определяют необходимость оперативного принятия решений в условиях непредсказуемых изменений внешней среды и сопутствующих факторов, влияющих на процессы производства электроэнергии, ее распределения и использования. Для этого необходимо рассмотреть возможность построения и включения в состав решаемых задач новых функций и процедур управления, их координацию и согласование, которые позволят повысить общую эффективность управления в электроэнергетике.

Все задачи управления могут быть распределены по нескольким уровням иерархии, создавая условия для совершенствования и развития подсистемы управления. Интеллектуальность подсистем управления SMART GRID поддерживается возможностями учета различных ситуаций и событий, которые могут возникнуть на практике [1–3], а ее эффективность – оперативностью принятия адекватных решений. В связи с этим основным направлением развития систем SMART GRID можно считать создание условий для более полной автоматизации решения задач управления энергосистемой на разных уровнях, включая управление производством, распределением, поставками и потреблением электроэнергии, и позволяющих обеспечить надежность функционирования, требуемое качество электроэнергии, развитие производственной базы, средств контроля и управления, а также самой управляющей подсистемы. Для этого необходимо определить способы преобразования функций управ-

ления в автоматические решения с обеспечением адекватности принимаемых решений на основе повышения достоверности идентификации возникающих ситуаций, используемых функциональных зависимостей, получения достоверных прогнозных значений внешних факторов и параметров функционирования, построения и внедрения новых задач управления в электроэнергетической системе

В состав этих задач, наряду с задачами оперативного и диспетчерского управления, должны входить задачи повышения эффективности и качества управления. Это задачи расширения и совершенствования функций диспетчерского управления, формирования процедур управления рыночными механизмами ценового и тарифного регулирования соотношений спроса и предложений, задачи вышестоящих уровней управления, перспективного планирования и др.

Подобные вопросы рассматривались в работах [1–3], но формирование целостной стратегии организации эффективного управления с применением интеллектуальных технологий в электроэнергетике рассмотрены не полностью.

В работе рассматривается структура и содержание задач интеллектуальных систем управления в электроэнергетической системе, а также вопросы расширения их состава и формализации условий решения в целях повышения общей эффективности управления.

Постановка задачи. Условия рыночной экономики в электроэнергетике предъявляют высокие тре-

бования к обоснованности и оперативности принимаемых решений. Процесс поиска приемлемого решения усложняется необходимостью использования ряда критериев эффективности, включающих минимум затрат на выполнение договорных обязательств по поставке потребителям заданных объемов электроэнергии в заданные сроки, поддержку требуемых значений надежности выполнения договорных обязательств, обеспечение заданного уровня качества электроэнергии и др. Приоритетность плановых заданий и критериев эффективности формируется текущими и ожидаемыми обстоятельствами.

Вопросы повышения эффективности управления в электроэнергетике, требования оперативности и многовариантности формируемых решений приводят к необходимости разработки высокопроизводительных алгоритмов, позволяющих в реальном масштабе

времени создавать множество эффективных решений, учитывающих динамические особенности объектов управления разных уровней и оценивать полученные варианты с позиций выбранных критериев. Анализируемые варианты решений включают формирование распределения производства электроэнергии между генерирующими компаниями и их энергоблоками в виде планов-графиков нагрузки для каждого производителя, энергоблоков и поставщиков. Помимо этого, все процессы планирования и оперативного управления должны увязываться в единую систему в соответствии с принимаемой иерархией процессов управления [4].

Формирование общей схемы решения. Структура взаимодействия производственных процессов, бизнес-процессов и процессов управления может быть представлено следующим образом, рис. 1.

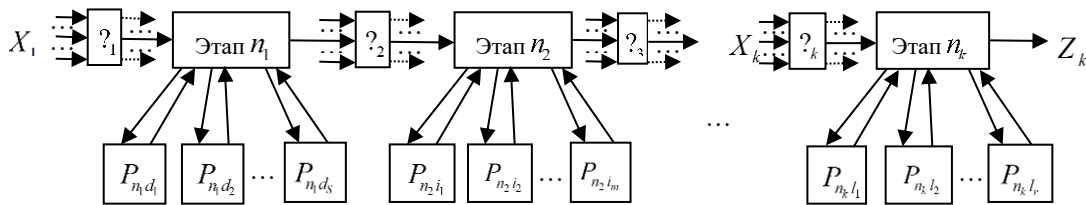


Рис. 1 – Формирование структуры процессов производства и управления

На рисунке X_i – подмножество значений внешних и внутренних факторов, инициирующих выполнение i -го этапа производственной деятельности. Блоки, обозначенные символами $?_i$, представляют собой блоки вывода в виде совокупности решающих правил, с помощью которых определяются выполняемые этапы производства и потребления $n_i, i = \overline{1, k}$, рассматриваемые в дальнейшем как объекты управления.

Каждый такой i -й этап (объект) представляется некоторой совокупностью процессов

$$\{P_{n_i m_i}\}, n_i \in N_i, m_i \in M_i, i = \overline{1, k}, \quad (1)$$

в которую могут входить бизнес-процессы, процессы организации производства, непосредственно производственные или технологические процессы в виде последовательности операций создания выпускаемой продукции, процессы распределения, поставок и потребления, а также процессы управления в рыночных условиях.

Результатом взаимодействия рассматриваемых процессов является некоторый промежуточный или конечный продукт с характеристиками $Z_i, i = \overline{1, k}$.

Решающие правила могут быть представлены совокупностью логических условий, выполнение которых связывается с инициализацией выполнения соответствующего этапа и/или его компонент в составе общего процесса создания конечного продукта, его последующего распределения, поставок и потребления.

Приведенная структура процессов управления в производственной деятельности может быть использована для интерпретации процессов управления произвольных производственных, технологических и бизнес-процессов разных уровней иерархии [4].

В качестве универсальной части приведенной структуры производственной деятельности может быть использовано взаимодействие блока вывода на основе решающих правил, блока инициализации и управления выполнением соответствующего этапа производственного плана с совокупностью технологических процессов.

Результаты такого взаимодействия представляют собой или некоторый промежуточный продукт в цепочке спрос–производство–распределение–поставки–потребление, или готовую продукцию у конечного потребителя.

Среди решающих правил разных уровней управления можно выделить группу правил инициализации выполнения соответствующих этапов и группу правил диагностики текущего или ожидаемого состояния объекта управления, которые используются для принятия соответствующих решений и последующей инициализации процедур управления.

Правила первой группы отражают связь внешних и внутренних факторов, влияющих на процессы функционирования объекта управления, и условий, которые в совокупности определяют необходимость выполнения задач управления в составе некоторого этапа. Данные правила могут быть представлены в виде некоторой логической функции, например, в виде дизъюнкции логических выражений, каждое из

которых определяет одно из условий выполнения заданной функции управления.

Тогда для этой группы состояний i -го объекта управления инициализация решения соответствующих задач управления определяется следующим выражением

$$F_i = \bigvee_{j=1}^{n_i} Q_{ij} (X_i, Y_{ij}) = 1, \quad i = \overline{1, k}, \quad (2)$$

где X_i – вектор значений внешних и внутренних факторов для i -го этапа;

Y_{ij} – вектор параметров j -го процесса i -го этапа.

Правила второй группы базируются на оценке вероятности текущего состояния объекта управления и обеспечению его перехода в некоторое целевое состояние. Для этого необходимо обеспечить формирование управляющих воздействий в соответствии с изменением состояния объекта управления.

Для этих целей помимо существующих значений внешних и внутренних факторов могут использоваться тенденции их изменения, а также прогнозные значения на некоторый период времени, связанный с будущим целевым состоянием объекта управления.

Поскольку идентификация текущего и будущего состояния объекта управления сопряжена с учетом неопределенности ряда его параметров и характеристик, обусловленной сложностью получения адекватных оценок, влиянием на объект управления процессов изменения внешних и внутренних факторов в предстоящем периоде, возникает необходимость формирования критерия оценки состояния, постановки и решения задачи диагностики объекта управления.

Будем считать возможным формирование открытого множества $S_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{i\alpha_i}\}$, элементы которого $S_{ij} \in S_i$ представляют j -е состояние i -го объекта управления, $j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$. Данные состояния в общем случае могут быть представлены в виде иерархии состояний с добавлением новых элементов, более точно описывающих возможные состояния и определяющих условия выполнения заданных функций управления.

Тогда задачу диагностики состояния i -го объекта управления можно представить в виде задачи классификации текущего состояния на основе определения зависимости между параметрами i -го объекта управления и параметрами известных его состояний в целях выбора одного из них для идентификации и выполнения функций управления в текущий момент времени. В такой постановке для решения данной задачи необходимо выбрать меру расстояния и построить процедуру его определения $r_{ij}(\cdot)$ в пространстве значений параметров состояния объекта диагностики среди классов $S_{ij} \in S_i$, $j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$, при условии обеспечения требуемой адекватности получаемых выводов.

Тогда состояние $S_{i\beta} \in S_i$, для которого $r_{i\beta} = 0$, будет соответствовать текущему состоянию i -го объекта в соответствии с принятыми предположениями.

Для определения расстояний могут быть использованы известные меры такие, как Евклидова мера, мера Чебышева, Хеммингово расстояние, процент совпадений и ряд других [5]

Представляет интерес использование взвешенной Евклидовой меры, позволяющей учесть не только различия в значениях параметров, но и задать их уровни значимости в виде экспертных оценок для отдельных показателей при идентификации состояний объекта управления. Эти действия представляют собой механизм адаптации процедуры измерения расстояния к особенностям сравниваемых состояний. Тогда для оценки искомого расстояния может быть использовано средневзвешенное значение

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^{\alpha_i} k_j (d_{ij} - y_{ij})^2}, \quad (3)$$

где k_j – весовой коэффициент для j -го параметр i -го объекта управления, $j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$;

d_{ij} – значение j -го параметра для состояния

$S_{ij} \in S_i$ i -го объекта управления, $j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$;

y_{ij} – значение j -го параметра для текущего состояния i -го объекта управления, $j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$.

При формировании возможных состояний объекта управления среди параметров, используемых для его описания, следует учитывать наличие числовых значений и их диапазонов, категориальных значений и их подмножеств, а также отсутствие, неизвестность или недостоверность имеющейся информации.

Логические блоки выбора и описания состояний объектов могут быть представлены базой знаний, обновляемой при появлении новых статистически достоверных данных и правил вывода. Данные обстоятельства приводят к необходимости разработки определенных процедур построения и обновления используемой информационной среды и базы знаний.

Если $r_{ij}(\cdot) > 0 \quad \forall j = \overline{1, \alpha_i}$, $i = \overline{1, k}$, то минимальное значение оценки расстояния

$$r_{i\beta} = \min_j r_{ij} \quad (4)$$

может служить оценкой степени близости текущего состояния i -го объекта к состоянию $S_{i\beta}$, $S_{i\beta} \in S_i$, либо использоваться для последующего обоснования необходимости идентификации нового состояния в составе множества S_i , $i = \overline{1, k}$.

Для оценки вероятности пребывания i -го объекта в состоянии $S_{i\beta}$ можно использовать значение

$$P_{i\beta} = 1 - r_{i\beta} / r_i^{cp}, \quad (5)$$

где $r_i^{cp} = \sum_{j=1}^{\alpha_i} r_{ij} / \alpha_i$.

В рамках принятых допущений формирование вывода относительно пребывания объекта управления в состоянии $S_{i\bar{k}}$, $S_{i\bar{k}} \in S_i$, может быть выполнено только с оценкой данной вероятности, например, с использованием указанного значения $P_{i\bar{k}}$, $i = \overline{1, k}$. При этом, если $0 < P_{i\bar{k}} < 1$, то, в общем случае, можно говорить или о тенденциях изменения состояния объекта, или о вероятности его перехода в соответствующее состояние.

С другой стороны, вероятное состояние может соответствовать текущему, поскольку полученные результаты могли быть получены при неполной информации или с использованием недостоверных (искаженных) значений анализируемых параметров. Поэтому для каждого состояния $S_{i\bar{k}} \in S_i$ i -го объекта, $i = \overline{1, k}$, необходимо определить значение доверительной вероятности P_{ij}^0 и, если $P_{ij}^0 \leq P_{ij}$, то можно считать, что возникают условия для инициализации и выполнения предусмотренных процедур управления для i -го этапа деятельности. При этом каждый блок вывода и решающих правил должен быть дополнен подсистемой мониторинга, обеспечивающей процессы анализа актуальной информацией о текущих значениях внешних факторов, параметрах и условиях функционирования рассматриваемого объекта управления. Указанные данные должны сохраняться в составе информационной базы системы управления для последующего анализа и использования в качестве статистической информации с возможным дальнейшим уточнением параметров состояний, идентификации и дополнения множества состояний новыми элементами с использованием новых процессов, решающих правил, задач управления и процедур решения.

В настоящее время в электроэнергетике интеллектуальное управление представлено системами SMART-GRID [1, 3], которые базируются на применении средств автоматики для поддержки надежности функционирования технических средств в энергосистеме и необходимого уровня качества генерируемой и поставляемой электроэнергии. Такие системы используют решения задач стабилизации частоты и уровня напряжения, определения требуемой мощности генерации, выполнения оперативных отключений и/или подключений оборудования.

Ряд функций, выполняемых на уровне подсистем автоматизированного диспетчерского управления (АСДУ) в отдельных энергосистемах и в составе системы Центрального диспетчерского управления (ЦДУ) Объединенной энергосистемы, направлены на формирование динамически изменяющегося уровня генерации, поставок и распределения электроэнергии в отдельных энергосистемах и объединенной энергосистеме в соответствии с плановым и текущим уровнями потребления, поддержку учета взаимодействия с соседними энергосистемами [5].

Решение подобных задач целесообразно выполнять с использованием многокритериальных и опти-

мизационных подходов, позволяющих получать эффективные решения с широким обоснованием принимаемых вариантов решений, адекватно отражающих влияние внешних и внутренних факторов. При этом наиболее важными критериями эффективности управления являются соблюдение договорных обязательств на поставку электроэнергии, обеспечение параметров, определяющих ее качество и стабильность, затраты на производство электроэнергии в требуемых объемах, надежность поставок.

Построение множества эффективных решений может быть выполнено с применением метода уступок по одному из критериев, например, по критерию, определяющему затраты на производство, распределение и поставку электроэнергии в соответствии с текущими планами и динамически изменяющимся спросом. При формировании данного множества использование в расчетах более дорогостоящих компонентов приводит, как правило, к улучшению значений критериев качества и надежности производства, распределения и поставок электроэнергии, но и вносящих большую стоимость в общие затраты по данному варианту решения с возможным уменьшением уровня эксплуатационных затрат.

Выполняя в ходе расчетов последовательную замену отдельных компонент производства, распределения и поставок электроэнергии на указанные варианты замещения, можно получить искомые элементы множества эффективных решений для последующего выбора решения, соответствующего поставленным целям, текущим или прогнозным условиям и требованиям. Подобные решения могут использоваться для формирования как оперативных решений, так и планов развития энергосистемы.

Периодичность решения задач управления зависит от ряда событий, среди которых следует выделить изменения во времени и в составе рыночных предложений параметров и характеристик производственных, технологических и бизнес-процессов. Наиболее динамичным параметрами, требующими оперативного учета при принятии решений, являются изменения значений нагрузки и спроса, создаваемой потребителями, доступность требуемых ресурсов, динамика изменений их характеристик, изменения стоимостных показателей, появление непредвиденных обстоятельств на всех этапах цепочки спрос–производство–распределение–поставки–потребление, которые нарушают условия функционирования энергосистемы, технические отказы, аварийные и форс-мажорные ситуации, последующие ремонты и восстановления.

Выводы. Использование интеллектуальных систем управления в электроэнергетике способствует повышению эффективности всех этапов производства, распределения, поставок и потребления электроэнергии. Автоматизация управления в электроэнергетике на разных уровнях, расширение состава и повышение качества выполняемых функций в режиме реального времени предполагает усовершенствование применяемых аппаратно-программных комплексов, систем учета ресурсов на всех этапах функционирования,

алгоритмов управління. Для этого необходимо выполнить постановку задачи проектирования, разработку и последующее сопровождение используемого информационного и программного обеспечения в составе систем SMART GRID, позволяющих формировать решения в рамках доступных ресурсов в соответствии с поставленными целями, адекватно отражающих текущие и прогнозируемые состояния взаимодействующих подсистем энергосистемы и внешней среды.

Предлагаемые механизмы формирования состава задач и новых состояний интеллектуальной системы управления способствуют расширению ее функциональности, адекватности и повышению эффективности управления, что особенно важно для энергетических компаний, использующих технологии управления SMART GRID в современных энергосистемах.

Список литературы

1. Smart Grids European Technology Platform. – Режим доступа : <http://www.smartgrids.eu>. – Дата обращения: 05 декабря 2016.
2. Костров Д. Умные сети электроснабжения [smart grid] и проблемы с кибербезопасностью / Д. Костров // Информационная безопасность. – 2014. – № 3. – С. 45–47.
3. Hurtado L. A. Smart grid and smart building inter-operation using agent-based particle swarm optimization / L. A. Hurtado, P. H. Nguyen, W. L. Kling // Sustainable Energy, Grids and Networks. – Vol. 2, June 2015. – pp. 32–40.
4. Шевченко С. В. Оптимизация управления производственными системами / С. В. Шевченко // Материали XXII міжнародної конф. «АВТОМАТИКА 2015» (10–11 вересня 2015 р., Одеса). – Одеса : ТЕС. – 2015. – С. 117–118.
5. Уздин Д. З. Новые меры близости, функции состояний и решающие правила в теории распознавания образов (состояний) / Д. З. Уздин. – М. : МАКС Пресс, 2015. – 95 с.
6. Шевченко С. В. Формирование планов производства электроэнергии с учетом динамики изменения состояния энергосистемы / С. В. Шевченко, А. А. Эгоянц // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 58 (1167). – С. 91–96.

References (transliterated)

1. Smart Grids European Technology Platform. Available at: <http://www.smartgrids.eu> (accessed 05 December 2016).
2. Kostrov D. Umnye seti jelektronsnabzhenija [smart grid] i problemy s kiberbezopasnost'ju [Smart grid and cybersecurity issues]. *Informacionnaja bezopasnost'*. 2014, no. 3, pp. 45–47.
3. Hurtado L. A., Nguyen P. H., Kling W. L. Smart grid and smart building inter-operation using agent-based particle swarm optimization. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2015, vol. 2, June, pp. 32–40.
4. Shevchenko S. V. Optimizacija upravlenija proizvodstvennymi sistemami [Optimization of production systems management]. *Materialy` XXII mizhnarodnoyi konf. "AVTOMATYKA 2015" (10-11 September 2015, Odessa)* [Materials of the XXII Int. Conf. "AUTOMATION 2015" (10-11 September 2015, Odessa)]. Odessa, TES Publ., 2015, pp. 117–118.
5. Uzdin D. Z. *Novye mery blizosti, funkcii sostojanij i reshajushhie pravila v teorii raspoznavanija obrazov (sostojanij)* [New measures closeness function of states and the decision rules in pattern recognition theory (states)]. Moscow, MAKS Press Publ, 2015. 95 p.
6. Shevchenko S. V., Jegojanc A. A. Formirovanie planov proizvodstva jelektroenergii s uchetom dinamiki izmenenija sostojanija jenergosistemy [Formation of electricity production plans, taking into account the dynamics of change in the power system status]. *Visnyk NTU "KhPI". Ser.: Sistemnij analiz, upravlinnja ta informacijni tehnologii*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 91–96.

Поступила (received) 06.12.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Про формування складу задач інтелектуальних систем управління в електроенергетиці / С. В. Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 41–45. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

О формировании состава задач интеллектуальных систем управления в электроэнергетике / С. В. Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 41–45. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

About formation of the tasks composition of management for SMART GRID / S. V. Shevchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series : System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 45 (1217). – P. 41–45.– Bibliogr. : 6. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шевченко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net.

Шевченко Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: sv-hevchenko@ukr.net.

Shevchenko Serhii – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Software Engineering and Information Technology Management; tel. : (057) 707-64-74; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net.