

УДК 001.891.57:519.711

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ-СОВЕТЧИКА ДИСПЕТЧЕРА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Глущенко А.И., Еременко Ю. И., Цуканов М.А.

*Старооскольский технологический институт (филиал) ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (СТИ НИТУ МИСиС),
e-mail: tsukanov_m_a@mail.ru*

Современные условия развития промышленного комплекса определяют высокую динамику как самого комплекса, так поставки энергоресурсов. В то же время управленческая деятельность в сфере электроснабжения, как правило, базируется на использовании стационарных моделей. При таком подходе принятие управленческих решений в результате произошедших изменений в системе осуществляется с задержкой. Время задержки может быть существенным и зависит от сроков выявления самих изменений и нормативов для различных объектов промышленности. Поэтому разработка автоматизированной системы и электроснабжения, является в настоящее время актуальной задачей, что позволит ликвидировать отставание в объеме и уровне использования ИТ в экономике, государственном управлении и повысить конкурентоспособность отечественных ИТ-продуктов на отечественном и мировом рынках. Для достижения поставленной цели требуется разработка методики построения интеллектуальной интегрированной системы управления распределительной электрической сетью, включающей: а) структурные и поведенческие модели интеллектуальных агентов системы, б) модель взаимодействия агентов на основе популяционных роевых интеллектуальных алгоритмов, в) модель идентификации источников утечки электроэнергии в рамках распределенной архитектуры системы.

Ключевые слова: распределительная сеть, система-советчик, мультиагентная система, агенты, иммунный алгоритм, сети Петри, агрегат Бусленко

MULTIAGENT TECHNOLOGY AS THE BASIS OF DESIGN SYSTEM MANAGER ENERGY-ADVISOR

Glushenko A.I., Eremenko Y.I., Tsukanov M.A.

Oskol institute of technology branch of the «National University of Science and Technology «MISiS», Oskol, e-mail: tsukanov_m_a@mail.ru

Modern conditions of the industrial complex as determined by high dynamics of the complex, so the energy supply. At the same time, management activities in the field of electricity, as a rule, based on the use of stationary models. With this approach, management decisions as a result of the changes in the system is carried out with a delay. The delay time can be significant, depending on the timing of the changes themselves and identify standards for various industrial facilities. Therefore, development of an automated system and electricity is now an urgent task, which will eliminate the backlog in the volume and level of IT use in the economy, public administration and improve the competitiveness of domestic IT products for the domestic and international markets. To achieve this goal requires the development of techniques for constructing integrated intelligent control electricity distribution network, comprising: a) structural and behavioral models of intelligent agents system; b) the model of the interaction of agents based on population swarm intelligent algorithms in; c) model identification of the sources of leakage power in a distributed architecture system.

Keywords: distribution network, system-counselor, multiagent system, agents, immune algorithm, Petri nets, the unit Buslenko

Одна из важнейших проблем в управлении энергосистемами сегодня заключается в необходимости научной организации труда в вопросе функционирования диспетчерских вахт в непрерывном цикле диспетчерского управления.

Стратегия оперативного диспетчерского управления энергосистемами заключается в принятии решений по контролю и оптимизации основных показателей системы человеком-оператором. Так как управление производится по модели-пульту, лишь гомоморфно отображающему исходную систему, то значительная часть информации с объектов воспринимается диспетчером системы по телефону. В силу того, что время восприятия информации даже одного характера может меняться в значительных пределах в зависимости от подготовки, усталости, на-

строения персонала, то достоверность этой информации весьма вариативна [4].

Существенную помощь в обеспечении контроля работы энергосистем, особенно в темпе процесса управления, могут оказать интеллектуальные системы-советчики диспетчера, имеющие доступ к той же информации, что и диспетчер, и предназначенные для помощи в процессе принятия решений, в случае если уровень подготовки, усталости или настроения персонала влияет на качество управления.

В таких условиях необходимо искать новый подход к реализации алгоритмов управления как самим предприятием в целом и объектами его основного производства, так и коммуникационной средой между ними. Так, например, авторами [3] разработана нейростекая надстройка для управления

печами нагрева, оптимизирующая подбор коэффициентов ПИД-регулятора, а в статье [5] описываются алгоритмы структурной оптимизации сетей связи, которые могут быть использованы для построения интеллектуальных промышленных сетей.

Основные задачи диспетчера по контролю состояния энергосистемы

Основные функции диспетчера во время дежурства заключаются в ведении режима и производстве переключений.

Используя язык теории массового обслуживания, диспетчеру поступает поток заявок от n объектов в дискретные моменты времени.

Относительно потока заявок i -го объекта системы можно сделать следующие предположения:

1. Он является одинарным, т.е. вероятность одновременного поступления двух или более числа требований является бесконечно малой величиной.

2. Он является нестационарным в течение суток, но на меньших интервалах времени (в пределах часа) его можно считать стационарным.

Таким образом, поступающий диспетчеру энергосистемы поток заявок можно разделить на несколько подпотоков:

- По выработке электроэнергии:
 - регулирование режима;
 - отключение (включение) котлагрегатов;
 - отключение (включение) гидро- и турбоагрегатов и т.д.
- По распределению электроэнергии:
 - отключение (включение) линий;
 - отключение (включение) трансформаторов;

- переключение на шинах станций, подстанций;

- изменение автоматики и уставок релейной защиты и т.д.

Поток заявок по выработке электроэнергии образуется тем потоком заявок, которые возникают из-за несоответствия реального потребления электроэнергии и прогнозируемого. Задача диспетчера заключается в том, чтобы поддерживать в заданных пределах частоту или перетоки мощности по межсистемным линиям связи и следить за напряжением в контрольных точках энергосистемы в том случае, когда диапазон регулирования активной и реактивной мощности на регулирующих станциях и синхронных компенсаторах исчерпан.

Распределение электроэнергии связано с различного рода операциями по включению и отключению ЛЭП, трансформаторов, переключениями на шинах станций и подстанций, изменением автоматики и уставок релейных защит и т.д. Это может выполняться по заранее поданным заявкам или в процессе текущей эксплуатации.

Для повышения эффективности решения этой проблемы предлагается система-советчик на основе мультиагентных технологий (MAT), которая базируется на комплексе моделей и алгоритмов оптимизации распределения электроэнергии в темпе процесса управления.

Блок принятия решений концептуальной схемы системы-советчика (рис. 1) представлен агентом-супервизором, блок анализа проблем – агентом-анализатором, имитационная модель распределительной сети – агентами-распределителями и агентами-потребителями.

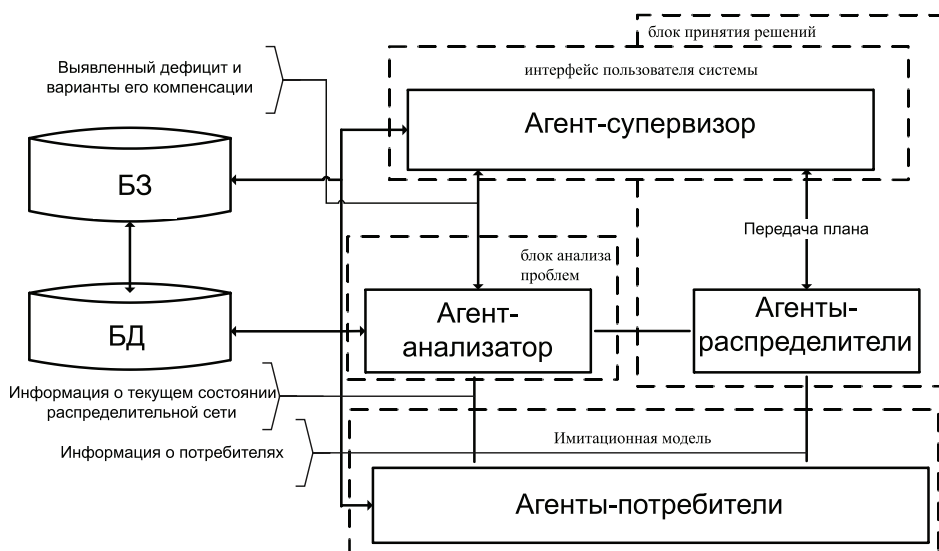


Рис. 1. Концептуальная схема системы-советчика для диспетчера системы управления энергосистемами

Агент-супервизор – интерфейсный агент, решающий задачу взаимодействия агентов МАС и связи с пользователем. Он выдает отчет по анализу «узких мест» в системе энергоснабжения и варианты их корректировки, формирует задания нижестоящим агентам-распределителям по распределению электроэнергии в соответствии с определенными заданиями.

Агент-анализатор – гибридный агент, который осуществляет распределение ограниченных энерго мощностей энергосистемы в условиях оперативно возникающего дефицита.

Агент-распределитель – партнерский агент, задачей которого является слежение за работой конкретного энергораспределительного агрегата, входящего в состав распределительной сети.

Агент-потребитель – партнерский агент, задачей которого является слежение за потреблением энергоресурса конкретным потребителем.

Координация агентов в системе осуществляется на основе непрямого взаимодействия соответственно распределению функциональных задач МАС. Агент-супервизор формирует технологическое задание по распределению электроэнергии с учетом текущей ситуации, которое в виде входного сообщения поступает агенту-реализатору, идентифицирующему состояние распределительной сети и определяющему группы агентов-распределителей. Он же анализирует степень готовности агентов-распределителей принять задание на основе данных о режимах нагрузки, оцененной по состоянию агентов-потребителей и формирует и посылает агенту-супервизору сообщение о возможности выполнения заданий каждым из распределителей и/или возникшем дефиците.

Супервизор на основе информации о готовности агентов-распределителей и о возникшем дефиците корректирует план распределения электроэнергии и направляет откорректированный план агенту-анализатору для проверки возможности его реализации.

Формирование плана по распределению энергетического ресурса

Задача формирования и плана распределения электроэнергии относится к классу задач составления расписаний. Наличие многих распределителей и потребителей, многовариантность их взаимодействия, последовательно-параллельные и перекрестные схемы потоков распределения электроэнергии определяют эту задачу как NP-сложную. Время ее решения с использованием комбинаторных и эвристических методов оптимизации и известных методов

искусственного интеллекта (генетического алгоритма, алгоритма муравьиных колоний) не удовлетворяет требованиям оперативного в темпе процесса управления.

Для формирования и оптимизации плана распределения электроэнергии и внесения в него необходимых корректировок в режиме реального времени предлагается математический аппарат одной из модификаций алгоритма иммунных сетей, обеспечивающего эффективный параллельный поиск оптимального решения на основе принципа клональной селекции, предложенного De Castro [6].

Оптимизация расписания осуществляется путем выбора одного или нескольких распределителей для обслуживания группы потребителей i , минимизирующей суммарные приведенные потери R_{ij} , связанные с отключением (включением) линий, отключением (включением) трансформаторов, переключением на шинах станций, подстанций, изменением автоматики и установок релейной защиты и т.д.

$$F = \sum_i \sum_j R_{ij} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$R_{ij} = C_{cp} \cdot \rho_{ij} \cdot \Delta D_{ij}, \quad (2)$$

где C_{cp} – средняя себестоимость электроэнергии; ρ_{ij} – производительность j -го распределителя по обслуживанию i -й группы потребителей; ΔD_{ij} – изменение уставки релейной защиты или сведения о включении (1) или отключении (0) линии.

Проверка плана по распределению энергетического ресурса

Алгоритм проверки составленного плана на реализуемость осуществляется с использованием математического аппарата вложенных сетей Петри [2], в которой каждая позиция-вершина системной сети представлена как группа агентов-потребителей, обслуживаемая конкретным распределителем.

Сеть описывается формально множествами переходов и вершин сети. Функционирование сети задается правилами срабатывания переходов.

Математически сеть описывается кортежем:

$$S = \langle P, T, F, \tau_T, C, \{V_S\}, K, M_0 \rangle, \quad (3)$$

где P – множество позиций, представленных моделями отдельных единиц-распределителей электроэнергии; T – множество переходов между распределителями и потребителями; F – функция инцидентностей позиций и переходов, определяющая соответствие потребителя распределителю; C – функция цвета маркера, сигнализирующая

о принадлежности перехода к определенному распределителю; τ_T – модельное время, отнесенное ко всем компонентам сети P, T, F, M_0 ; $\{V_s\}$ – условия выполнения переходов, отнесенных к компонентам сети, входным и выходным позициям; K – емкость маркеров в позициях с учетом C ; M_0 – вектор начальной маркировки, компоненты которого помечают закрытые позиции.

Срабатывание каждого перехода из множества $T\{t_1, t_2, \dots, t_{11}\}$ определяется наличием сигнала на выходе определенной технологической установки. Возможность осуществления перехода в одну из позиций P определяется с учетом значений параметров сети $F(A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)})$, идентифицирующих агрегат-исполнитель следующего требования, и вектора M_0 , компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание. Аргументы функции $A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)}$ представляют соответственно агрегат-источник и агрегат-приемник требования на обслуживание. Вектор M_0 характеризуется переменной размерностью, которая зависит от этапа обработки и определяет общее число агрегатов-приемников технологического требования. Закрытые позиции помечаются как 0, допустимые – как 1.

Объединённые в группы потребители имеют соответствующее входное и выходное условие работы (переход), что представлено на сети множеством стрелок. Согласно этим условиям проверяется занятость агрегата. В случае успешной проверки, т.е., когда агрегат-распределитель имеет запас производительности ($p_{lk} = 0$), на время D_{Φ_k} ему присваивается значение 1.

В случае, если план признан невыполнимым, на основе недоступных позиций или неосуществимых переходов базой знаний формируется набор рекомендуемых корректировок с целью устранения дефицита электроэнергии при перепланировке плана агентом-реализатором.

Имитационная модель распределительной сети

Для имитационного моделирования отдельных моделей распределителей и потребителей предлагается агрегативная модель Н.П. Бусленко [1]. Агрегат A_j (рис. 2) характеризуется набором координат $x_m^{(m)}, (l = \overline{1, M})$, которые описывают его

состояние: для основных агрегатов – простой, ожидание продукта, операция обработки и передачи, операция ожидания; для агрегатов-накопителей – простой, ожидание продуктов до обработки; для агрегатов-транспортных средств – простой, операция транспортировки, операция ожидания,

$z_l^{(1)} \dots z_l^{(m)}$ – управляющие сигналы, $\overline{y_{l-1,k}}$ – вход агрегата, поступающий с выхода предыдущего агрегата, $\overline{y_{l,k}}$ – выход текущего агрегата и вход следующего.

Агрегат реализует алгоритм выходов G_n (окончание обработки на одном агрегате и передача другому) и алгоритм переходов H_n (изменение состояния агрегата в процессе работы). Параметры агрегата β_n характеризуют его работоспособность.

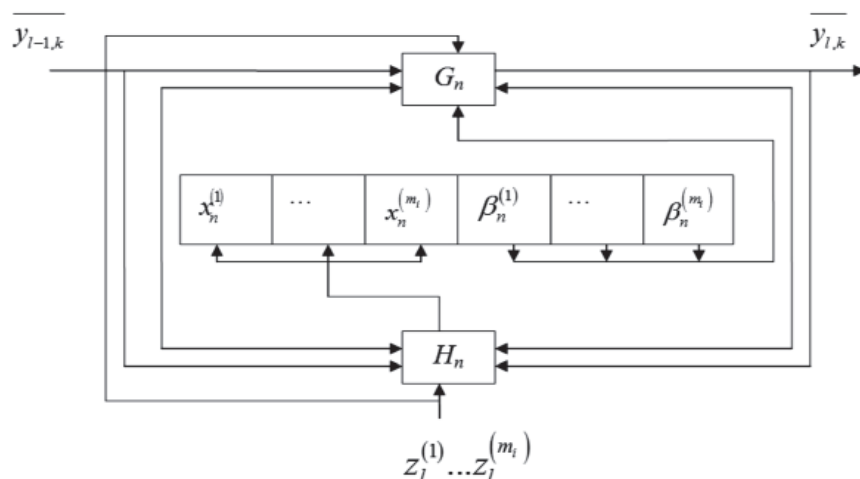


Рис. 2. Схема агрегата Бусленко

Агрегативные модели оборудования реализуются на нижнем уровне MAC агентами-исполнителями.

Связная агрегативная модель всего технологического процесса цеха представляется партнерской агентной системой.

Ее работа направлена на отслеживание этапов плана распределения электроэнергии. Последовательно анализируется возможность каждого из назначенных в плане распределителей отработать технологическое задание по бесперебойному обеспечению всех потребителей электроэнергией. В случае возникновения рассогласования планового и фактического расписания агентом-анализатором формируется запрос агенту-оптимизатору на корректировку плана.

Заключение

На основе разработанных моделей и алгоритмов возможна реализация интеллектуальной системы-советчика диспетчеру системы управления энергораспределением на основе МАС, которая отслеживает текущее состояние распределительной сети и обеспечивает эффективное выполнение плана по обеспечению потребителей энергоресурсом с высокой эффективностью за счет упреждения нерациональных, а порой и ошибочных действий оперативно-диспетчерского персонала в темпе процессе управления.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов по государственному контракту № 14.516.11.0103.

Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 355 с.
2. Бодянский Е.В., Кучеренко В.Е., Кучеренко Е.И. Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 357 с.
3. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Об условиях применения ПИД-нейрорегулятора для управления объектами, описываемыми аperiodическим звеном второго порядка с запаздыванием // Приборы и

системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2013. – №6. – С. 39–45.

4. Меркурьев Г.В. Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами. – СПб.: Издание Центра подготовки кадров энергетики, 2002. – 116 с.

5. Семенов М.Е., Соловьев А.Ю., Тимченко О.В. Алгоритмы структурной оптимизации сетей связи // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3.1(37). – С. 195–199.

6. De Castro L.N., Von Zuben F.J. (2000a), The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, submitted to GECCO'00.

References

1. Buslenko N.P. simulation of complex systems. M. Science, 1968. pp. 355.
2. Bodyanskiy E.V., Kucherenko V.E., Kucherenko E.I. hybrid neuro-fuzzy model and multi-agent technology in complex systems // Dnepropetrovsk System Technology, 2008. 357 p.
3. Eremenko Y.I., Poleschenko D.A., Gluschenko A.I. On conditions for the application of PID control for neuroregulatory objects described aperiodic link second order delay // devices and systems. Management. Control. Diagnostics. 2013. no. 6. pp. 39–45.
4. Merkur'ev G.V. of the supervisory control power systems // SPB Edition Training Center Energy 2002. 116.
5. Semenov M.E., A. Soloviev, Oleg Timchenko Algorithms for structural optimization of communication networks // Control Systems and Information Technology, 2009. no. 3.1 (37). pp. 195–199.
6. De Castro L.N., Von Zuben F.J. (2000a), The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, submitted to GECCO'00.

Рецензенты:

Семенов М.Е., д.ф.-м.н., профессор кафедры цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж;

Кургалин С.Д., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.