

УДК 620.9.001.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ СЕТЯМИ С МУЛЬТИАГЕНТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

*Ю.П. Кубарьков, И.С. Кулаев, И.Д. Кубарьков*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассматриваются основы информационно-аналитической системы для разработки, анализа и моделирования интеллектуальных сетей и систем управления. Система состоит из среды графического моделирования, агентов для взаимодействия с системой управления, инструментов для мониторинга и визуализации данных для человека-оператора. Преимущество такого подхода в том, что система управления может быть протестирована и оптимизирована с окружающей средой моделирования и конечная модель в дальнейшем может использоваться в системе управления для того, чтобы прогнозировать поведение распределительной сети.*

**Ключевые слова:** моделирование режимов, мультиагенты, Smart Grid, распределительная сеть.

### Введение

Большинство современной электросетевой инфраструктуры было разработано и использовалось на протяжении десятилетий. Сети и инфраструктура управления росли и развивались в течение последних лет, что было обусловлено как совершенствованием технологий, так и расширением самих сетей. В результате существующая инфраструктура оказалась очень неоднородной по структуре и по технологии. В то же время объекты, используемые в энергосистемах, и способы управления меняются кардинально.

Многие собственники распределительных сетей внедряют альтернативные или возобновляемые источники энергии, которые все шире используются во всех сетях. Производственные мощности этих источников различаются в зависимости от погоды и спроса, тем самым обеспечивая дополнительную нагрузку на сеть.

Например, количество возобновляемых источников энергии в мире выросло с 4 % в 1996 г. до 20 % в 2014 г., из которых 8 % – энергии ветра и 3 % – солнечная энергия.

Таким образом, внедрение в производство энергии альтернативных источников изменяет нагрузку в распределительных сетях, которые работают в настоящее время.

В то же время все большее распространение получают интеллектуальные и совершенно новые типы потребителей, которые не только увеличивают общий спрос, но также делают существующие графики потребления устаревшими. Появление новых нагрузок приводит к необходимости реконструкции сетей, что, в свою очередь, требует частых и динамических изменений в топологии. В целом

---

*Юрий Петрович Кубарьков (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Электрические станции».*

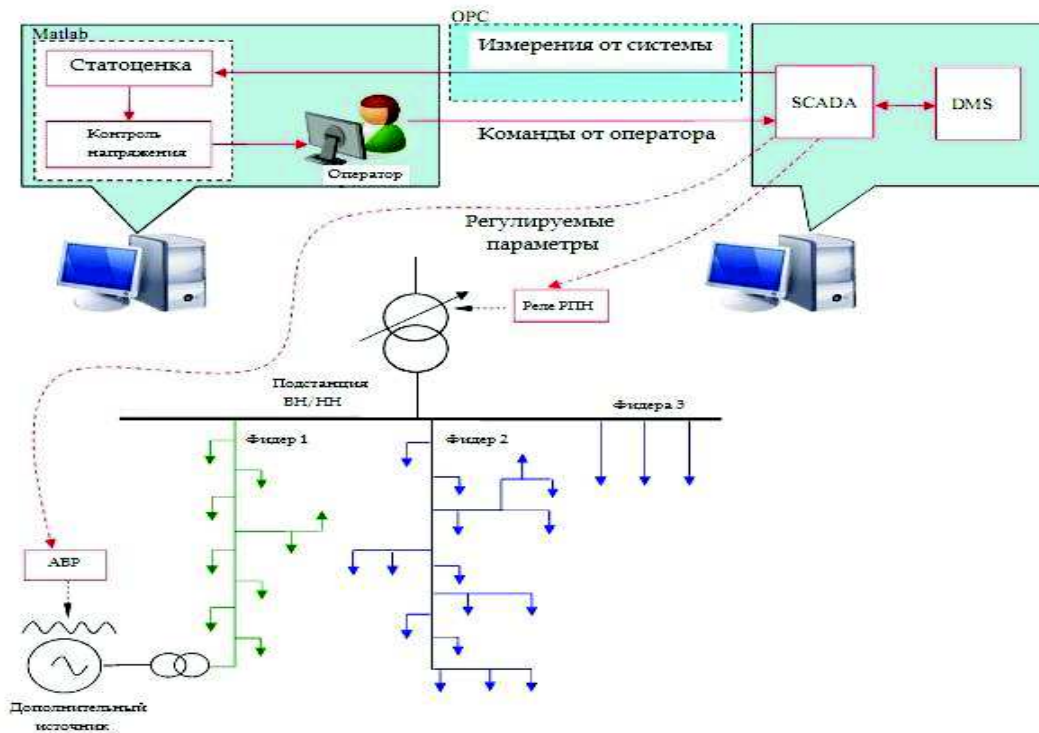
*Игорь Сергеевич Кулаев, студент.*

*Илья Дмитриевич Кубарьков, студент.*

технические требования к сети, а также сложность энергетического рынка резко возрастут в ближайшие годы.

Все эти изменения определяют новые проблемы как для работы оборудования сетей, так и для производителей, а также для программного обеспечения и диспетчерского персонала. Программное обеспечение должно поддерживать переход сетевой инфраструктуры к работе на новом оборудовании, а также учитывать изменения и динамические характеристики новых источников и потребителей.

Управление будущими электрическими сетями должно быть децентрализованным, способным действовать в рамках локальных сетей и в то же время координировать обмен потоками мощности между несколькими такими кластерами. Система должна иметь возможности автономно принимать решения при изменениях в сети и находиться под наблюдением человека-оператора. Кроме того, такая система должна обеспечивать поддержание жизненного цикла электрооборудования и функций управления, которые являются общим звеном в современных системах программного обеспечения, таких как дистанционное управление, управление обновлениями и изменениями во время работы. Установка и активация новых функций и рабочих подсистем важна для обеспечения таких показателей, как стабильность и отказоустойчивость.



Структура системы управления в сети с распределенной генерацией

Основой системы управления должна быть программная платформа на базе мультиагентов, которая позволяет обеспечить непрерывное развитие структуры сети. Она должна быть гибкой и обеспечивать основные атрибуты управления, такие как взаимодействие распределенных автономных компонентов, самовосстановление режима работы с возможностью добавления новых функций во вре-

мя выполнения [1]. Она должна быть в состоянии взаимодействовать с мульти-агентной моделью инфраструктуры для того, чтобы проводить оценку новых реализаций до внедрения элементов в реальной сети. Предварительные расчеты должны охватить сложные и многогранные взаимодействия элементов интеллектуальной сети, с которыми приходится иметь дело.

Такая система позволяет сократить циклы внедрения, что обеспечит быструю интеграцию новых функций управления, чтобы идти в ногу с развитием других умных компонентов сети.

### **Smart-моделирование сети и интеллектуальные системы управления**

Моделирование интеллектуальных сетей является сложной задачей. Как упоминалось ранее, наиболее важным моментом для Smart Grid является обеспечение силовых сетей информационными и коммуникационными технологиями. Это означает, что необходимо рассмотреть перетоки мощности, а также информационно-коммуникационные связи при моделировании. Для тренажеров это обычно реализуется с помощью механизмов создания специализированных учебных баз данных (БД). Чтобы синхронизировать модель с реальной БД, она должна быть в состоянии присоединиться к этой БД, что не всегда является возможным (см. рисунок).

### **Мультиагентная система управления**

Область управления электрической сетью с помощью мультиагентного подхода стала популярной среди исследователей с 2003 г., когда была описана система поддержки принятия решений на основе мультиагентов, которые анализируют состояние электрической сети и генерируют рекомендации для человека-оператора. В дальнейшем появились два подхода к управлению магистральными и распределительными сетями. Первый пытается минимизировать каскадные сбои с применением интеллектуальных стратегий отключения нагрузки. Второй пытается выполнить восстановление режима работы в местных распределительных сетях после аварий. Оба подхода описывают систему, которая управляет сетями низкого напряжения с высокой степенью готовности внедрения распределенной генерации.

### **Объединение мультиагентной системы (MAS) и Smart-моделей**

Типичные комбинации MAS и Smart-моделей строятся на основе моделирования условий, в которых агенты выполняют имитацию различных моделей [2]. Этот подход оптимален в условиях реализации при применении полезных параметров MAS (например, масштабируемость, автономия и т. д.) в ресурсоемких и сложных моделях. В данной работе представлен подход, который основан на несколько иной концепции. MAS не является основанием для моделирования режимов работы, но в автономной MAS проверяется механизм взаимодействия с окружающей средой.

Это позволяет агентам использовать различные модели коммуникации, такие как простые сообщения, пакет услуг или протоколов.

Задачей системы является создание гибкой и надежной системы управления для Smart-сети. В частности, она включает в себя:

- наблюдение и накопление информации о текущем состоянии сети;
- обнаружение сбоев и перенапряжений, в том числе прогнозов о поведении Smart-сети на основе общих потребительских профилей;

– управление и контроль инфраструктуры Smart-сети, предпочтительно после консультаций с человеком-оператором, но автономно, если это необходимо;

– обеспечение стабильности и отказоустойчивости, особенно в связи с задачами, основной целью которых является обработка взаимодействия между электро- и телекоммуникационными сетями в случае сбоя.

Предлагается использовать 5 типов агентов следующих видов: агент подстанции (АП – SA), агент шин (АШ – BA), агент фидера (АФ – FA), агент нагрузки (АН – LA) и агент генерирующего элемента (АГ – GA). В основном предлагаемая МАС использует децентрализованную структуру и агенты могут взаимодействовать только с соседними агентами. Связь между несмежными агентами выполняется посредством отправления сообщений через других промежуточных агентов. Посредством обмена информацией с соседними агентами каждый агент может динамично получать информацию о его ограниченном районе и балансировать спрос и поставку электроэнергии при помощи местной информации.

Этот подход позволяет системе работать на местном уровне. Например, в случае сценария деления сети на кластеры или потери связи с системным оператором местные агенты подстанции могут контролировать свои подсети самостоятельно и попытаться обеспечить запрос своих местных потребителей любыми имеющимися средствами. Учитывая текущую тенденцию по установке местных источников в виде солнечных и ветроэнергетических станций, такие сценарии возможны в будущем и должны быть обеспечены контролем со стороны инфраструктуры управления [3].

В более широком объеме подстанции (АП), которые отвечают за местные подсети, могут вести переговоры о текущих и ожидаемых нагрузках и либо предоставить избыточные мощности в другие подсети, либо удовлетворить их дефицит своими энергоспособностями.

В будущей работе необходимо определить набор подходящих оценочных функций различных приложений для оптимизации режимов работы электрической сети в условиях взаимодействия мультиагентов.

### **Выводы**

1. Управление будущими электрическими сетями должно быть децентрализованным, способным действовать в рамках локальных сетей.
2. Система должна иметь возможности автономно принимать решения при изменениях в сети и в то же время находиться под наблюдением человека-оператора.
3. Наиболее важным моментом для Smart Grid является обеспечение силовых сетей информационными и коммуникационными технологиями.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. V.M. Catterson, E.M. Davidson, and S.D.J. McArthur. Embedded intelligence for electrical network operation and control. IEEE Intelligent Systems, 26:38-45, 2011.
2. H. Lin, S. Sambamoorthy, S. Shukla, J. Thorp, and L. Mili. Power system and communication network co-simulation for smart grid applications. In Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES, pages 1-6, jan. 2011.
3. Z. Wang, R. Yang, and L. Wang. Intelligent multi-agent control for integrated building and micro-grid systems. In Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES, pages 1-7, jan. 2011.

*Статья поступила в редакцию 7 октября 2015 г.*

## THE SIMULATION OF A CONTROL SYSTEM OF MULTI-AGENT INTERACTION DISTRIBUTION GRIDS

***Yu.P. Kubarkov, I.S. Kulaev, I.D. Kubarkov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*The paper covers the basics of a data-analysis system for the design, analysis, and simulation of intelligent networks and control systems. The system comprises a graphical modeling environment, agents for the communication with the control system, instruments for data monitoring and visualization for the operator. This approach has the advantage of the possibility of the control system being tested and made optimal according to the modeling environment, and the final model can then be used in the control system to predict the distribution network behavior.*

**Keywords:** *Simulation Mode, Multi-Agents, Smart Grid, Distribution Network.*

---

*Yury P. Kubarkov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Igor S. Kulaev, Student.  
Iliya D. Kubarkov, Student.*