

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-945-954

## MULTI-AGENT SYSTEM FOR DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM CONTROL

**A. Yu. Kuzin, D. V. Lukichev, G. L. Demidova**

ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation

*The main trend of modern energy systems is smart grids that satisfy modern requirements in the field of energy efficiency and reliability. Achieving these requirements is due to technologies such as energy storage systems, two-way electricity exchange, renewable sources, and others. These technologies are the basis of distributed power systems, which, due to redundancy, make it possible to provide energy for themselves, as well as return additional energy to the primary network. Control algorithms play an important role in this process. The control of a distributed power system using a multi-agent approach, which is an alternative to the traditional control of all processes in the system using a single central processor, is considered in the paper. The proposed approach provides interaction between all objects of the distributed system, transforming them into abstract intelligent nodes - agents with a some degree of freedom in making decisions on the energy distribution. Objects in the distributed power system can be various energy sources, including renewable resources, energy storage devices, as well as various types of devices that are loads in relation to the power grid. In this paper, algorithms for the operation of a multi-agent system are being developed. The JADE (Java Agent Development Environment) platform and the MATLAB / Simulink software package, which implements the mathematical model of the power system, are used to simulate the interaction between the agents of the distributed energy system. As part of the main task of the multi-agent system, the response to emergency events occurring in the system is modeled. It is shown that in the case when the power generated in the system is less than the required one, the loads with the lowest priorities begin to switch off sequentially until the power generated by the alternative sources exceeds the power consumed by the loads. Then, Raspberry Pi, single-board computers based on the BCM2837B0 controller with a large set of input-output ports and a number of communication interfaces are used to prototype the developed system and check algorithms.*

*Keywords: power supply, microgrid, smart grid, multi-agent system, real time system, JADE, MACSimJX, MATLAB/Simulink, Raspberry Pi.*

**For citation:**

Kuzin, Aleksey Yu., Dmitry V. Lukichev, and Galina L. Demidova. "Multi-agent system for distributed energy system control." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 945–954. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-945-954.

**УДК 620.9, 629.3**

## МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

**А. Ю. Кузин, Д. В. Лукичев, Г. Л. Демидова**

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Отмечается, что основной тенденцией современной энергетики является использование интеллектуальных энергосистем, отвечающие современным требованиям в области энергоэффективности и надежности. Достижение этих требований возможно в случае использования технологий системы хранения электроэнергии, двухстороннего обмена электроэнергией, возобновляемых источников и др. Новые технологии являются основой распределенных энергосистем, которые за счет резервирования позволяют обеспечить энергией не только собственные нужды, но и отдавать излишки обратно в первичную сеть. Важное место в этом процессе занимают алгоритмы управления. Данная работа посвящена управлению распределенной энергосистемой с помощью мультиагентного подхода, являющегося*

альтернативой традиционному управлению всеми процессами в системе с помощью одного центрального процессора. Предлагаемый подход обеспечивает взаимодействие между всеми объектами распределенной системы, преобразуя их в абстрактные интеллектуальные узлы-агенты, обладающие некоторой степенью свободы в принятии решений по распределению электроэнергии. Объектами в распределенной энергосистеме могут являться различные источники энергии, в том числе использующие возобновляемые ресурсы, накопители электроэнергии, а также различные виды устройств, являющихся нагрузками по отношению к энергосети. В предлагаемом исследовании разрабатываются алгоритмы работы мультиагентной системы. Для моделирования взаимодействия между агентами системы распределенной электроэнергии используются платформа JADE (Java Agent Development Environment) и программный пакет MATLAB / Simulink, в котором реализована математическая модель энергосистемы. В рамках основной задачи мультиагентной системы моделируется реакция на возникающие в ней события. Показано, что в случае, когда генерируемая в системе мощность меньше требуемой, нагрузки с наименьшими приоритетами начинают последовательно отключаться до тех пор, пока генерируемая альтернативными источниками мощность не превысит мощность, потребляемую нагрузками. В дальнейшем для прототипирования разрабатываемой системы и проверки алгоритмов используются Raspberry Pi — одноплатные компьютеры, построенные на основе контроллера BCM2837B0 с большим набором портов ввода-вывода и ряда интерфейсов для коммуникации.

*Ключевые слова:* электроснабжение, распределенная энергосистема, мульти-агентная система, система реального времени, JADE, MACSim.JX, MATLAB/Simulink, Raspberry Pi.

#### Для цитирования:

Кузин А. Ю. Мультиагентная система управления распределенной энергосистемой / А. Ю. Кузин, Д. В. Лукичев, Г. Л. Демидова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 945–954. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-945-954.

### Введение (Introduction)

В настоящее время в области энергосистем в России наблюдается новый виток развития, обусловленный прогнозируемыми изменениями экономики не только Российской Федерации, но и мировой экономики в целом, в связи с чем потребуются ускоренный переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике. Данный переход осложняется существующими в Российской Федерации проблемами, связанными с тем, что в большинстве случаев существующее энергетическое оборудование в России и относящиеся к нему инженерные сети физически и морально устарели и требуют глубокой модернизации. Помимо этого в обновлении нуждаются также системы автоматизации управления технологическими процессами и устройствами. О необходимости изменений и направлениях развития, за счет которых возможен выход из сложившейся ситуации, отмечается в пп. 1.1 «О единой технической политике в электросетевом комплексе» «Положения ПАО «Россети»<sup>1</sup>, а также в принятой Правительством РФ в июне 2020 года «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»<sup>2</sup>, — документе, являющемся продолжением «Энергетической стратегии России на период до 2030 года». Данными документами декларируется приоритет применения новых технологий, в том числе систем мониторинга и диагностирования, а также создание новых алгоритмов управления.

Изменения в экономике обуславливают переход от централизованной системы электроснабжения к децентрализованной клиентно-ориентированной энергосистеме, в которой большое внимание уделяется надежности функционирования и, как следствие, бесперебойному снабжению энергией потребителей. В новой концепции сами потребители принимают активное участие в процессе перераспределения энергии, а, следовательно, на первое место выходят соответствующие алгоритмы управления, которые в том числе оптимизируют данные процессы с учетом имеющихся в энергосистеме резервных мощностей.

В последнее десятилетие во всем мире внедряются распределенные энергосети с технологией *Smart Grid* («интеллектуальная сеть» или «активно-адаптивная сеть»). *Self Monitoring*

<sup>1</sup> Положение ПАО «Россети». М.: ПАО «Россети», 2019. 219 с.

<sup>2</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/18038> (дата обращения: 13.09.2020).

*Analysis and Reporting Technology* — технология, позволяющая в режиме реального времени отслеживать и контролировать работу всех участников процесса выработки, передачи и потребления электроэнергии. Основной целью таких энергосетей является надежное электроснабжение потребителей с максимальным уровнем энергоэффективности и экономичности при различных изменениях в системе. Это достигается посредством скоординированного управления с помощью современных двухсторонних связей между элементами энергосистем: электростанций, источников питания, аккумуляторов и потребителей [1], [2]. Большие круизные и танкерные суда также являются современной энергосистемой, оснащенной как источниками так и приемниками электрической энергии. В связи с новыми правилами Международной морской организации (ИМО) [3], которые призваны ограничить вредные выбросы, помимо перехода на новый вид топлива (сжиженный природный газ) крупные судовые компании перестраивают энергетическую систему судна, которая требует использования новых алгоритмов управления, помогающих корректно управлять потоками мощности и минимизировать ее потери.

Основные проблемы, с которыми сталкиваются современные энергосистемы, в основном связаны с необходимостью предоставления большей мощности для создания баланса между производством и потреблением. Как отмечалось ранее, для того чтобы преодолеть эти проблемы, данные системы должны быть дополнены подсистемами распределенной генерации энергии и использовать новейшие технологий. В настоящее время к эффективным распределенным вычислительным интеллектуальным методам относится подход с использованием мультиагентных систем (МАС), представляющий собой способ автоматизированного управления на основе концепции интеллектуальных агентов. В целом агент представляет собой независимую вычислительную единицу, принимающую воздействие от внешнего мира и обрабатывающую его в соответствии с заложенным в ней алгоритмом с последующей выдачей ответной реакции в виде управляющего сигнала [4]–[6]. Зачастую при проектировании агентов используют такие технологии искусственного интеллекта, как нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и др. (рис. 1, а). К агентам предъявляются следующие требования:

- независимая, автономная и безоператорная работа;
- возможность общения с другими агентами;
- наличие собственной цели и формы поведения;
- возможность реагировать на изменения в среде.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Взаимодействие агента и области (среды), в которой он работает, показано на рис. 1, б. Каждый агент имеет четыре компонента: интерфейсы ввода и вывода, программу принятия решений и интерфейс связи. Также используются датчики в зависимости от области применения и исполнительные механизмы (двигатели, реле).



Рис. 1. Области знания и технологии, используемые интеллектуальными агентами (а), схема функционирования агента (б)

Мультиагентная система (МАС) — это группа агентов, функционирующих и взаимодействующих для достижения общих целей. На рис. 2 показана общая концепция МАС, когда каждый агент, имеющий свой объект управления и физический контроллер, оснащен соответствующими инструментами, такими как датчики и исполнительные устройства (различные приводы, контакторы и др.) для получения локальных данных и предоставления управляющих сигналов для контролируемого оборудования соответственно. Чаще всего агенты взаимодействуют друг с другом путем обмена сообщениями для достижения определенных целей.



Рис. 2. Структура мультиагентной системы

МАС обладают *надежностью*, которая достигается за счет использования нескольких агентов и алгоритмов их совместного управления, поэтому система сохраняет работоспособность при сбое одного или нескольких агентов. Еще одним преимуществом МАС является *масштабируемость*, которая проявляется в том, что можно легко изменить структуру системы, добавив к ней дополнительных агентов. Применительно к энергетике важнейшим направлением при синтезе МАС является разработка таких алгоритмов работы распределенных энергосистем, в процессе реализации которых агенты должны управлять потоками энергии между устройствами распределенной генерации, потребления и накопления энергии, в том числе в аварийном и предаварийных состояниях, анализировать работу и обнаруживать неисправности, а также использовать технологию блокчейна для энергосистем [7]–[9].

Предлагаемое исследование посвящено созданию МАС для распределенной интеллектуальной энергосети, а также проверке алгоритмов ее работы при возникновении аварийного режима, возникающего в системе.

Все агенты используют программную среду. Выбор правильной платформы — нетривиальная задача, которая обычно связана с методологией проекта. Для коммуникации между агентами наиболее часто используется *Java Agent Development (JADE)*, представляющее собой программное обеспечение для распределенных мультиагентных приложений на основе архитектуры одноранговой связи. Данная программная среда создана на основе *Java* с открытым исходным кодом, который соответствует протоколу *IEEE FIPA* [10]. После запуска каждый агент должен передать информацию о себе, чтобы зарегистрироваться в системе. В дальнейшем программная среда будет контролировать работу всей системы и при необходимости производить необходимые управляющие действия для отдельных агентов. При работе агенты обмениваются информацией, включающей запрос, передачу данных и т. д.

Для построения модели распределенной энергосистемы в работе использовался пакет *MATLAB / Simulink*. Программа *MACSimJX* применялась для коммуникации модели энергосистемы *MATLAB/Simulink* со средой *Jade* (рис. 3) [12]. Инструментарий *MACSimJX* имеет архитектуру клиент-сервер и позволяет выполнять параллельную обработку данных, а также обработку многопоточных программ, что является обязательным требованием для распределенных систем.

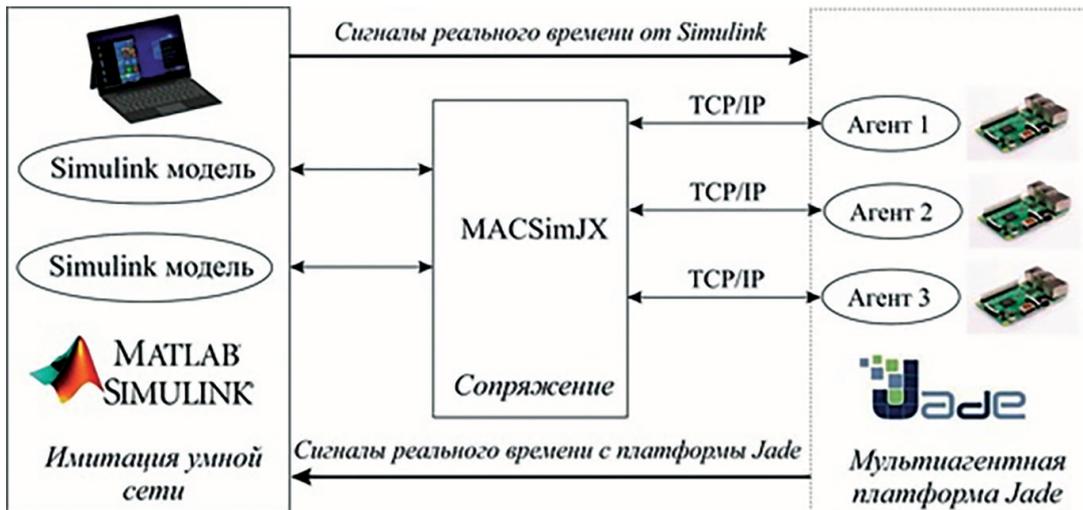


Рис. 3. Структурная схема взаимодействия агентов при моделировании распределенной системы электроснабжения с использованием программных сред JADE и MATLAB

Модель исследуемой распределенной энергосистемы с мультиагентной системой управления, реализованная в пакете MATLAB / Simulink, представлена на рис. 4 и включает следующие основные блоки:

- основной источник энергии — электростанцию;
- ветрогенераторную установку;
- аккумуляторную систему накопления энергии;
- критическую нагрузку, подключенную непосредственно к электростанции;
- вторичные нагрузки, подключенные к изолированной сети.

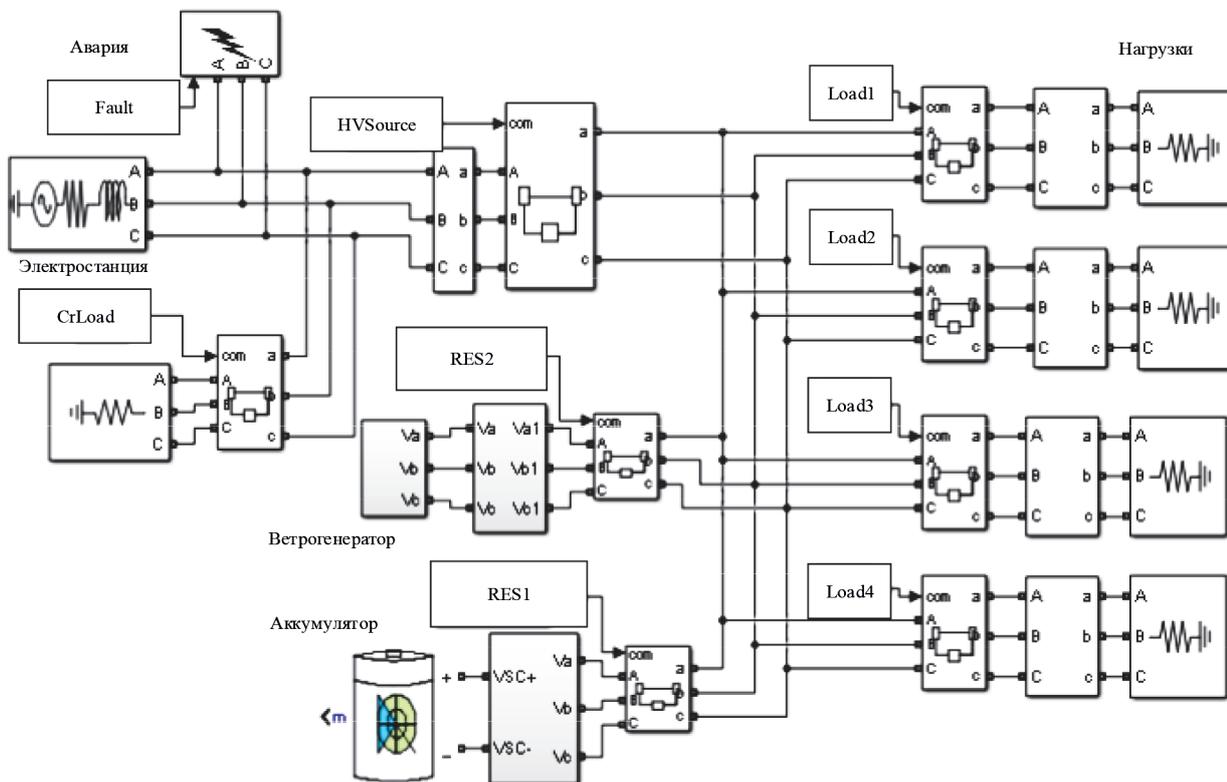


Рис. 4. Модель распределенной интеллектуальной энергосистемы в программе расширении Simulink

Модель включает в себя шину трехфазного напряжения от источника (электростанции): 380/220. Аккумуляторная батарея и ветрогенератор оснащены собственными трехфазными преобразователями напряжения. К высоковольтной шине подключена основная нагрузка, а также в модель этой сети добавлен блок *Fault* для генерации аварийной ситуации. К трехфазной сети подключены четыре трехфазных нагрузки одинаковой мощности. Все потребители и генераторы подключены к сети через размыкатели, управляемые агентами. Разработанная MAC содержит следующие агенты:

- *агент нагрузки*: установлен на каждой из нагрузок, отвечает за количество потребляемой энергии и передает сообщения о запросе энергии;
- *агент источника энергии*: установлен на каждом источнике энергии и отвечает за мощность, которую способен отдать источник, а также за мониторинг штатной работы источника энергии;
- *агент основного регулятора*: обеспечивает контроль за потоками энергии в системе и мониторинг внештатных ситуаций.

В таблице показаны элементы модели и управляющие ими сигналы, которые генерируются соответствующими агентами в результате алгоритма работы MAC.

### Сигналы управления элементами распределенной энергосистемы

№ п/п.	Элемент	Управляющий сигнал	№ п/п.	Элемент	Управляющий сигнал
1	Основной источник	HVSource	5	Нагрузка 1	Load1
2	Основная нагрузка	CrLoad	6	Нагрузка 2	Load2
3	Ветрогенератор	RES1	7	Нагрузка 3	Load3
4	Аккумуляторная батарея	RES2	8	Нагрузка 4	Load4

Режим работы мультиагентной системы описывается блок-схемой, представленной на рис. 5. Данный алгоритм был реализован на языке *Java* в среде *JADE*. В работе MAC рассматриваемой распределенной энергосистемы участвуют два агента источников энергии, четыре агента нагрузки и один агент основного регулятора.

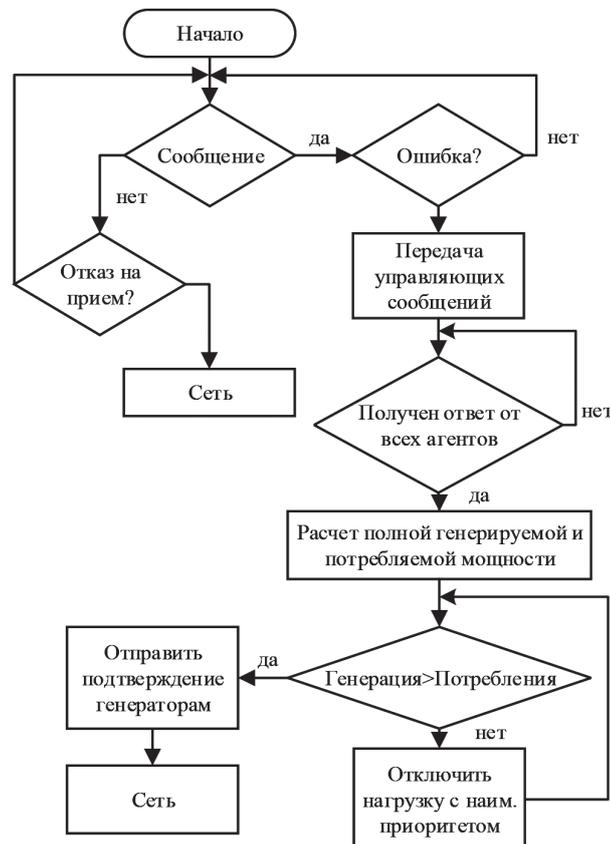


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы мультиагентной системы

При работе энергосистемы в штатном режиме от центральной электростанции возможна ситуация, когда на линии электропередачи произойдет авария. В таком случае необходимо подключить альтернативные источники энергии. В предложенной модели такими источниками выступают аккумуляторная батарея и ветрогенераторная установка, подключенные к общей шине питания энергосистемы с помощью частотных преобразователей. В момент аварии на главный управляющий агент в системе приходит сообщение об аварии от агента, отвечающего за электростанцию. Главный агент запрашивает информацию у агентов альтернативных источников о готовности, а затем информацию о доступной мощности. Он рассчитывает необходимую мощность, исходя из информации, предоставляемой агентами нагрузок. В случае, если генерируемая мощность меньше требуемой, то нагрузки с наименьшими приоритетами начинают последовательно отключаться до тех пор, пока генерируемая альтернативными источниками мощность не превысит потребляемую нагрузками.

Процессы включения / отключения нагрузок в описанном ранее режиме представлены на рис. 6. По осям ординат отложены  $U_{load}$  — линейные напряжения на рассматриваемых нагрузках. Таким образом, в результате обмена сообщениями и анализа доступной мощности были отключены наименее важные нагрузки, а после устранения аварии вновь подключены.

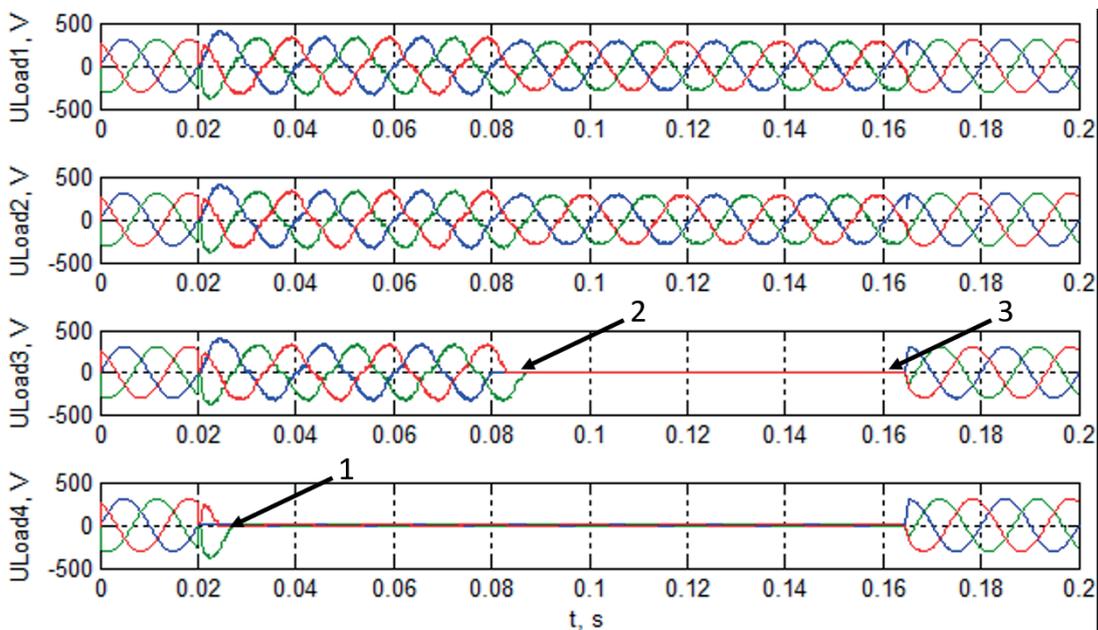


Рис. 6. Диаграммы напряжений на нагрузках при моделировании аварийной ситуации:

- 1 — аварийное отключение основного источника (электростанция);
- 2 — отключение одного из дополнительных источников (ветрогенератор);
- 3 — восстановление основного источника

Программный пакет *Java Agent Development Environment* позволяет, используя *Java*-библиотеки, программировать агенты для различных объектов и различной сложности. При этом за счет универсальности языка *Java* его можно применять на различных платформах с различными операционными системами.

Для проверки результатов моделирования проводилось прототипирование мультиагентной системы с использованием платформы *Raspberry Pi*-одноплатных компьютеров на основе контроллера *BCM2837B0* с большим набором портов ввода-вывода и ряда интерфейсов для коммуникации [12]. Модели агентов выполнялись на платформе *Raspberry Pi* в виде отдельных приложений. Данные агенты уже в виде физических моделей взаимодействовали между собой и с компьютером, используя протокол *TCP/IP*. Результаты работы мультиагентной системы, реализованной с помощью платформы *Raspberry Pi*, полностью повторяют результаты моделирования *MAC* при аварийных

режимах работы энергосистемы (см. рис. 6). Следующим шагом исследования будет являться создание и управление физическим прототипом распределенной интеллектуальной энергосистемы, включающей блоки, аналогичные блокам в математической модели: трехфазный источник, ветрогенератор, солнечная панель, накопитель и потребители.

### Обсуждение (Discussion)

Представленное решение в области управления распределенной энергосистемой позволяет автоматизировать процессы принятия решений, например, для решения таких проблем, как перегрузка, отключение питания, баланс мощности и сбой отдельных узлов. При этом за счет того, что мультиагентные системы состоят из нескольких агентов, они могут применяться для оптимизации различных показателей распределенных энергосистем, таких как пиковое потребление, стоимость электроэнергии и др. Кроме того, таким образом обеспечивается наиболее легкое дополнение существующей энергосистемы дополнительными источниками электроэнергии без дополнительных затрат на существенное изменение системы управления. При реализации распределенной энергосистемы с мультиагентным управлением использовалось межплатформенное взаимодействие посредством программ *MATLAB / Simulink*, *MACSimJX*, *JADE*. В дальнейших исследованиях предполагается перенести разработанную МАС на физический прототип распределенной энергосистемы, которая в данный момент создается в Университете ИТМО.

### Выводы (Conclusions)

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В работе была продемонстрирована эффективность применения мультиагентного подхода в распределенной энергосистеме для управления ее работой и обеспечения гибкой защиты ее объектов.
2. Распределенная энергосистема была реализована и смоделирована с использованием *MATLAB / Simulink*. Мультиагентная система была разработана с использованием инструментария создания мультиагентных приложений с открытым исходным кодом «*Java Agent Development (JADE)*», в том числе на аппаратном уровне с помощью платформы *Raspberry Pi*. Взаимодействие *MATLAB / Simulink* и *JADE* было организовано с помощью специализированного приложения *MACSimJX*.
3. В системе электроснабжения интеллектуальные сети используются главным образом для перераспределения энергии в случае аварий на главном источнике (отключение источника или обрыв фазы). В этом случае дополнительные источники, подключенные к сети, должны восполнить недостаток мощности. В мультиагентных системах логика такого переключения определяется взаимодействием агентов. В соответствии с этим были разработаны сценарии работы агентов.
4. Результаты моделирования, в том числе с использованием физического аналога агента на платформе *Raspberry Pi*, показали, что алгоритмы МАС изолировали основной источник питания при возникновении неисправности, задействовали резервный источник и таким образом, защитили потребителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Р. Н. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / Р. Н. Бердников, Ю. А. Дементьев, Ю. И. Моржин, Ю. Г. Шакарян // Энергия Единой сети. — 2012. — № 4 (4). — С. 4–11.
2. Moharm K. State of the art in big data applications in microgrid: a review / K. Moharm // Advanced Engineering Informatics. — 2019. — Vol. 42. — Pp. 100945. DOI: 10.1016/j.aei.2019.100945.
3. Международная морская организация (ИМО) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.imo.org> (дата обращения: 13.09.2020).

4. Глущенко П. В. Активно-адаптивные электросети: интеллектуальный мультиагентный диагностико-прогнозирующий комплекс и интеллектуальный алгоритм мультиагента решений диагностического мониторинга / П. В. Глущенко // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. — 2014. — № 8 (68). — С. 1.
5. Malik F. H. A review: Agents in smart grids / F. H. Malik, M. Lehtonen // *Electric Power Systems Research*. — 2016. — Vol. 131. — Pp. 71–79. DOI: 10.1016/j.epsr.2015.10.004.
6. Stone P. Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective / P. Stone, M. Veloso // *Autonomous Robots*. — 2000. — Vol. 8. — Is. 3. — Pp. 345–383. DOI: 10.1023/A:1008942012299.
7. Roche R. Multi-agent systems for grid energy management: A short review / R. Robin, B. Blunier, A. Miraoui, V. Hilaire, A. Koukam // *IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. — IEEE, 2010. — Pp. 3341–3346. DOI: 10.1109/IECON.2010.5675295.
8. Kiran P. Multi-agent based systems on micro grid — a review / P. Kiran, K. R. M. V. Chandrakala, T. N. P. Nambiar // *2017 international conference on intelligent computing and control (I2C2)*. — IEEE, 2017. — Pp. 1–6. DOI: 10.1109/I2C2.2017.8321880.
9. Morstyn T. Control strategies for microgrids with distributed energy storage systems: An overview / T. Morstyn, B. Hredzak, V. G. Agelidis // *IEEE Transactions on Smart Grid*. — 2016. — Vol. 9. — Is. 4. — Pp. 3652–3666. DOI: 10.1109/TSG.2016.2637958.
10. Poggi A. Extending JADE for agent grid applications / A. Poggi, M. Tomaiuolo, P. Turci // *13th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*. — IEEE, 2004. — Pp. 352–357. DOI: 10.1109/ENABL.2004.30.
11. Bellifemine F. L. Developing multi-agent systems with JADE / F. L. Bellifemine, G. Caire, D. Greenwood. — John Wiley & Sons, 2007. — Vol. 7. — 300 p.
12. Upton E. Raspberry Pi User Guide / E. Upton, G. Halfacree. — 4th Edition. — Chichester: Wiley, 2016. — 320 p.

## REFERENCES

1. Berdnikov, R.N., Yu.A. Dement'ev, Yu.I. Morzhin, and Yu.G. Shakaryan. "Osnovnye polozheniya kontseptsii intellektual'noi elektroenergeticheskoi sistemy Rossii s aktivno-adaptivnoi set'yu." *Energiya Edinoi seti* 4(4) (2012): 4–11.
2. Moharm, Karim. "State of the art in big data applications in microgrid: a review." *Advanced Engineering Informatics* 42 (2019): 100945. DOI: 10.1016/j.aei.2019.100945.
3. International Maritime Organization (IMO). Web. 13 Sept. 2020 <<http://www.imo.org>>.
4. Glushchenko, Pavel Vital'evich. "Actively adaptive grid: intelligent multi-agent diagnostic and predictive complex and intelligent algorithm of multiagent solutions diagnostic monitoring." *Management of economic systems: scientific electronic journal* 8(68) (2014): 1.
5. Malik, Farhan H., and Matti Lehtonen. "A review: Agents in smart grids." *Electric Power Systems Research* 131 (2016): 71–79. DOI: 10.1016/j.epsr.2015.10.004.
6. Stone, Peter, and Manuela Veloso. "Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective." *Autonomous Robots* 8.3 (2000): 345–383. DOI: 10.1023/A:1008942012299.
7. Roche, Robin, Benjamin Blunier, Abdellatif Miraoui, Vincent Hilaire, and Abder Koukam. "Multi-agent systems for grid energy management: A short review." *IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2010. 3341–3346. DOI: 10.1109/IECON.2010.5675295.
8. Kiran, P., KRM Vijaya Chandrakala, and T.N.P. Nambiar. "Multi-agent based systems on micro grid — a review." *2017 international conference on intelligent computing and control (I2C2)*. IEEE, 2017. 1–6. DOI: 10.1109/I2C2.2017.8321880.
9. Morstyn, Thomas, Branislav Hredzak, and Vassilios G. Agelidis. "Control strategies for microgrids with distributed energy storage systems: An overview." *IEEE Transactions on Smart Grid* 9.4 (2016): 3652–3666. DOI: 10.1109/TSG.2016.2637958.
10. Poggi, Agostino, Michele Tomaiuolo, and Paola Turci. "Extending JADE for agent grid applications." *13th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*. IEEE, 2004. 352–357. DOI: 10.1109/ENABL.2004.30.
11. Bellifemine, Fabio Luigi, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. *Developing multi-agent systems with JADE*. Vol. 7. John Wiley & Sons, 2007.
12. Upton, Eben, and Gareth Halfacree. *Raspberry Pi User Guide*. 4th Edition. Chichester: Wiley, 2016.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кузин Алексей Юрьевич** — аспирант

*Научный руководитель:*

Лукичев Дмитрий Вячеславович

Университет ИТМО

197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

Кронверкский пр., д. 49, литер А

e-mail: [cuzinaleksey@yandex.ru](mailto:cuzinaleksey@yandex.ru)

**Лукичев Дмитрий Вячеславович** —

кандидат технических наук, доцент

Университет ИТМО

197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

Кронверкский пр., д. 49, литер А

e-mail: [lukichev@itmo.ru](mailto:lukichev@itmo.ru)

**Демидова Галина Львовна** —

кандидат технических наук, доцент

Университет ИТМО

197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

Кронверкский пр., д. 49, литер А

e-mail: [demidofffa@mail.ru](mailto:demidofffa@mail.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuzin, Aleksey Yu.** — Postgraduate

*Supervisor:*

Lukichev, Dmitry V.

ITMO University

49A Kronverkskiy Av., St. Petersburg, 197101,

Russian Federation

e-mail: [cuzinaleksey@yandex.ru](mailto:cuzinaleksey@yandex.ru)

**Lukichev, Dmitry V.** —

PhD, associate professor

ITMO University

49A Kronverkskiy Av., St. Petersburg, 197101,

Russian Federation

e-mail: [lukichev@itmo.ru](mailto:lukichev@itmo.ru)

**Demidova, Galina L.** —

PhD, associate professor

ITMO University

49A Kronverkskiy Av., St. Petersburg, 197101,

Russian Federation

e-mail: [demidofffa@mail.ru](mailto:demidofffa@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 29 сентября 2020 г.*

*Received: September 29, 2020.*