

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья

УДК 622.23.05

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-36-45

Паскарь Иван Николаевич\*, старший преподаватель, Москалева Ксения Алексеевна, магистрант

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\*E-mail: paskar-ivan@mail.ru

### РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА



#### Информация о статье

Поступила:

12 сентября 2021 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 января 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2022 г.

#### Ключевые слова:

Имитационное моделирование, мультиагентные системы, оптимизация, регулирование напряжения.

#### Аннотация.

Существующая централизованная система управления энергосистемой не в полной мере учитывает потребности всех участников процесса производства, распределения и потребления электроэнергии. Одним из возможных вариантов решения вопросов регулирования напряжения в условиях становления цифровой энергетики является применение мультиагентных систем. Проведен анализ энергорайона от ПС Ново-Анжерская 500 кВ до Беловской ГРЭС электроэнергетического комплекса Кемеровской области – Кузбасса, проведено сравнение результатов расчетов между программой RastrWin и AnyLogic. Использование мультиагентного подхода дает возможность проводить расчет отдельных подсистем параллельно друг от друга, что во многом упрощает решение поставленных задач.

**Для цитирования:** Паскарь И.Н., Москалева К.А. Регулирование напряжения в энергосистеме с применением мультиагентного подхода // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 1 (159). С. 36-45. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-36-45

#### Введение/постановка проблемы

Современные электроэнергетические системы и электротехнические комплексы претерпевают ряд существенных изменений, связанных с их модернизацией и совершенствованием. Вследствие часто меняющихся режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС), поломок, аварий необходимо быстрое реагирование на такие возмущения и осуществление выравнивания работы системы. Существующая централизованная система управления ЭЭС не всегда учитывает желания конкретных потребителей, особенно явные сложности выявлены в отношении режимных параметров. Для обеспечения устойчивой работы энергосистемы необходимо контролировать уровень напряжения, причем вопросы регулирования напряжения возникают как в нормальных, так и в аварийных режимах работы. Подобная задача по

регулированию напряжения является многоплановой и, как правило, не может быть решена только лишь вмешательством оперативного персонала [1, 2, 3, 4, 5].

Одним из возможных вариантов решения вопросов регулирования напряжения в условиях становления цифровой энергетики является применение мультиагентных систем (МАС). МАС как направление искусственного интеллекта позволяют учитывать огромное количество лимитирующих факторов, а также обладают необходимой гибкостью в случае модернизации электрических сетей и системы электроснабжения [6]. В теории мультиагентных систем считается, что один агент владеет частичным представлением о тотальной проблеме. Значит, такой агент может решить лишь некоторую

часть общей задачи. Поэтому для решения глобальных проблем следует создать определенное количество агентов, позволяющее выстроить единую систему. Использование мультиагентных технологий во многом является перспективным мероприятием для электроэнергетического сектора в новых условиях его развития, так как данное направление позволит выстроить гибкую, современную и эффективно функционирующую систему производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии [7].

Объектом исследования в данной статье будет энергорайон от ПС Ново-Анжерская 500 кВ до Беловской ГРЭС электроэнергетического комплекса Кемеровской области-Кузбасса, изучение существующих средств регулирования напряжения с возможностью реализации нового подхода управления и регулирования параметров системы на базе мультиагентного подхода.

### Методика

Моделирование мультиагентного управления напряжением в распределительных электрических сетях заключается в интеграции расчетов режимных параметров и, как следствие, в имитации работы локальных агентов. В рамках данной работы рассматриваются возможности применения интеллектуальных агентов для решения задачи регулирования напряжения в энергосистеме. Главной отличительной чертой такого агента является возможность не только улавливать все изменения, но и воздействовать на окружающую среду обитания для решения поставленной задачи и обновлять свое состояние [8]. Также интеллектуальный агент умеет самообучаться и использовать полученные знания на практике. Для решения задачи регулирования напряжения эта способность будет выражаться в способности запоминать исходные данные об уровне напряжения в системе и возможных вариантах его стабилизации в случае отклонения от допустимых значений.

Мультиагентное регулирование напряжения – это совокупность мероприятий, которые принимаются каждым субъектом процесса (сетевой компанией, потребителем электроэнергии, генерацией) для достижения собственных целей от реализации данного регулирования в рамках единых принципов и правил, которые позволят обеспечить режим напряжения сети при соблюдении компромисса интересов.

Обозначим цели регулирования напряжения для каждой заинтересованной стороны:

- для сетевой организации – поддержание уровня напряжения в пределах допустимых величин во всех узлах нагрузок, а также максимальный пропуск потока электрической энергии с минимальными потерями;
- для потребителей – поддержание оптимального уровня напряжения на шинах электроприемников, т. е. контроль недопустимого снижения/увеличения напряжения более чем на 5% [9];
- для распределенной сети – поддержание допустимых уровней напряжений у потребителей на

участке до приборов учета поставляемой электроэнергии.

Основными принципами реализации мультиагентного подхода к регулированию напряжения являются:

- в случае возникновения аварийного режима работы поведение участников единой системы (субъекты) направлено на скорейшее его восстановление оптимальным способом с минимальными потерями;
- при достижении цели каждый субъект максимально эффективно использует собственные средства регулирования напряжения и всю информацию о нынешнем и прогнозируемом режиме сети [10].

Мультиагентный подход для решения множества задач наиболее эффективен в распределенных системах, где агенты расположены в разных местах своей области обитания. Тем не менее, можно наблюдать сложный характер взаимодействия агентов друг с другом, который проявляется в следующем:

- поведение всех агентов регулируется конфигурацией их внутренних состояний и возникающих внешних воздействий;
- поведение агента и системы в целом может быть до конца неизвестным до начала работы в режиме реального времени.

В основе МАС лежат определенные принципы построения, которые отличают мультиагентный подход от других традиционных методов решения поставленных задач. Методология мультиагентных технологий построена главным образом на возможности поиска наилучшего решения проблемы, которое осуществляется автоматически путем взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных программных модулей — агентов. Агенты образуют децентрализованную систему, в которой осуществляется координация и сообщение между всеми элементами системы. Каждый модуль выполняет конкретные действия, заложенные в его основу поведения. Действия могут быть направлены как на изменение окружающей среды, так и на изменение параметров в других агентах. Выбор конкретных действий производится с помощью внутренней структуры агента, которая может когнитивной и реактивной [11].

Реактивная структура не наделяет агента обширными возможностями в получении знаний, в результате чего агент имеет ограниченный диапазон поведения. Все действия такого модуля осуществляются от инициирующего события, они не содержат механизма прогноза, что делает агента пассивным. Реактивный агент способен выполнять какие-либо действия с учетом имеющихся в нем алгоритмов и ограничений, но самостоятельно обучаться в процессе он не сможет. Например, с учетом исходной отстройки модуля релейной защиты агент сможет произвести либо отключение в случае возникновения короткого замыкания, либо же подать определенный сигнал для реакции смежных агентов.

Когнитивные модули обладают более развитой структурой. Благодаря обширному внутреннему

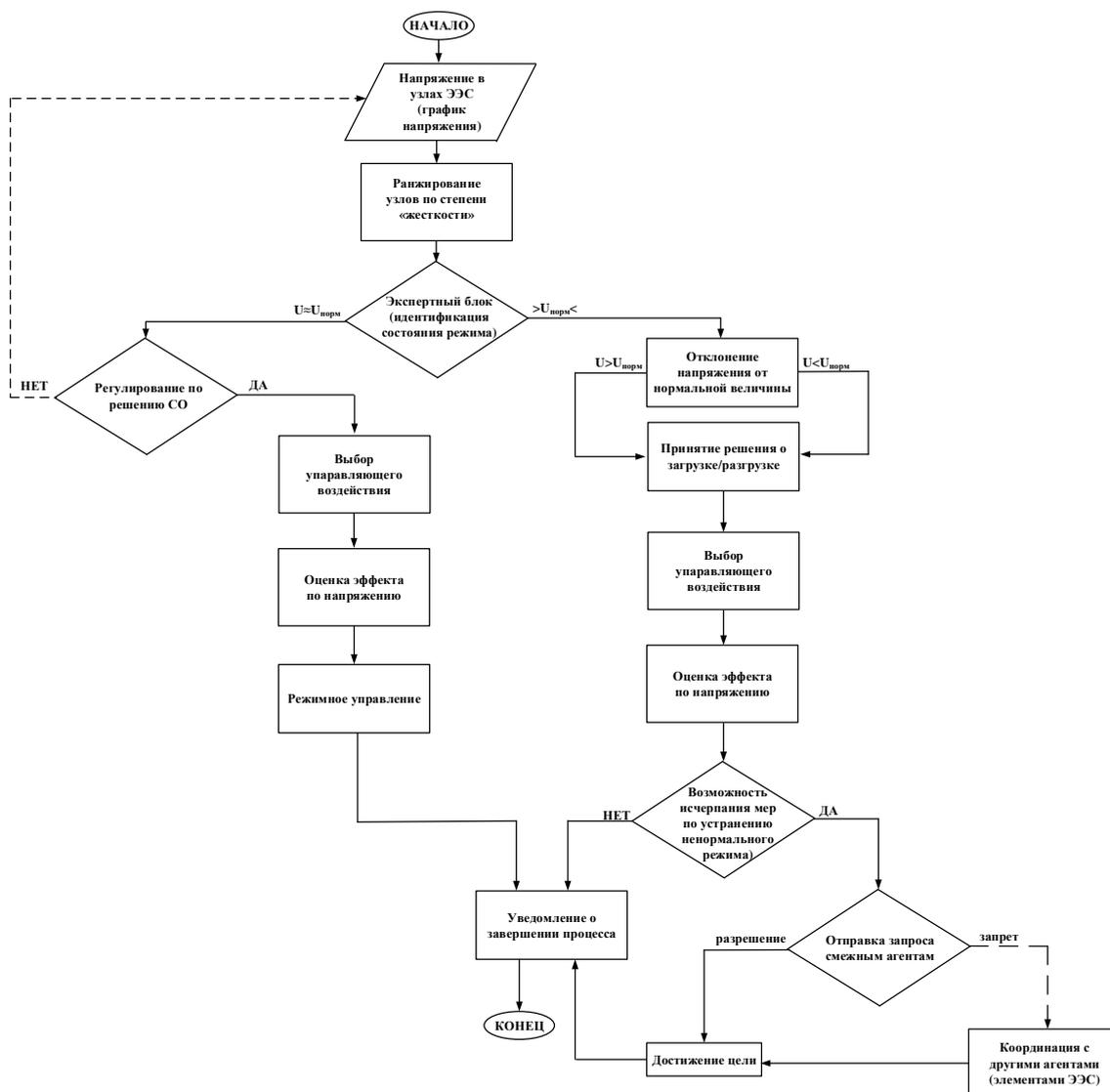


Рис. 1. Алгоритм процесса регулирования напряжения с помощью мультиагентного подхода  
 Fig. 1. Algorithm of the voltage regulation process using a multi-agent approach

строению когнитивные агенты имеют возможность к обучению, получению нового опыта, анализу своих действий и планированию следующих шагов. Система из когнитивных агентов позволяет выявить самое оптимальное решение и реализовать его [12].

Построение системы электроснабжения (СЭС) не обязательно должно ограничиваться наличием только лишь реактивных или когнитивных агентов. Оптимальным решением является включение в структуру модели в равной степени активных и реактивных агентов.

Реализация мультиагентного подхода в регулировании напряжения может быть воспроизведена в виде описания установившегося режима и определенным набором агентов, каждый из которых будет представлять определенный объект энергосистемы: секция шин, генератор, средства компенсации реактивной мощности и прочее. Но чтобы описать процесс регулирования напряжения по алгоритму, можно воспользоваться совокупностью из двух ти-

пов агентов, а именно агентов-координаторов и локальных агентов, взаимодействие которых можно представить в виде диаграммы состояний.

Самое важное в реализации модели регулирования напряжения с помощью мультиагентного подхода – выбор того, что будет являться агентом. В рамках данной задачи агентом-координатором будем считать контроллер управления средствами регулирования напряжения в узле. Контроллер – это интеллектуальный агент, который в реальной системе будет являться промежуточным звеном, связывающим реальные сетевые устройства и приложения, реализующие логику работы какого-либо оборудования. В качестве локального агента будут выступать активные элементы, а именно сами устройства компенсации реактивной мощности.

Для пояснения взаимодействия агентов в регулировании напряжения создается диаграмма состояний, описывающая всю логику взаимодействия при решении поставленной задачи. На рис. 1 изображен алгоритм, который описывает процесс регулирова-

ния напряжения в узлах ЭЭС с помощью мультиагентного подхода. В содержании данного алгоритма присутствует экспертный блок, это и есть агент, который является важным звеном. Этот агент в реальной системе мог бы идентифицировать напряжение по критерию его отклонения от допустимых значений. Распознавание режима ведется в двух направлениях:

– *напряжение равно номинальному или близко к нему.* Режим с такими характеристиками описывается как «нормальный оптимальный». При наступлении такого режима достигается граница области нормальных значений. Также такой режим может характеризоваться выходом за границы нормальных значений рассматриваемого параметра, при этом такое напряжение будет именоваться, как «нормально повышенное», либо «нормально пониженное».

– *напряжение выходит за границы нормируемых величин и характеризуется существенными отклонениями.* Тут также возможно рассмотрение нескольких режимов, которые связаны с выходом параметра за границы допустимых значений как в большую, так и в меньшую сторону. Возрастание напряжения определяет такие характеристики режима как «допустимо повышенный» и «аварийно повышенный». Снижение напряжения идентифицирует режимы работы как «допустимо пониженный» и «аварийно пониженный». Также возможен вариант возникновения «двухстороннего режима» в узлах, расположенных в одном районе. При таком режиме наблюдается выход как за пределы «допустимо повышенных» величин, так и за границы «допустимо пониженных» значений.

В момент идентификации режима работы определяется знак отклонения напряжения. Если состояние режима оценивается, как «нормальный оптимальный» или «нормальный», то возможен вариант корректировки напряжения по решению системного оператора.

Основной функцией регулирования напряжения в распределительных сетях 110 кВ и выше является поддержание экономичного режима работы за счет снижения потерь мощности в электрической сети. Допустимые отклонения напряжения от нормируемых значений в узлах ЭЭС 110 кВ и выше определяются требованиями по устойчивости параллельной работы генераторов, частей синхронной зоны, устойчивости работы двигателей, а также уровнями перенапряжений. Критическое напряжение в узлах нагрузки 110 кВ и выше следует принимать равным большей из двух величин:  $0,7U_{ном}$  и  $0,75U_{ном}$ , где  $U_{ном}$  – напряжение в рассматриваемом узле нагрузки при нормальном режиме энергосистемы.

Экспертный блок должен произвести анализ и зафиксировать факт необходимости в регулировании напряжения, а затем выдвинуть одно из следующих команд: «НЕТ» или «ДА». Команда «НЕТ» обрабатывает в том случае, если системный оператор отказывает в необходимости осуществить регулировку напряжения. При таком варианте алгоритм заклинивается и осуществляется с самого начала до момента выявления следующих отклонений.

Команда «ДА» определяется экспертным блоком в случае положительного ответа системного оператора. Цикл переходит к режимному управлению, который осуществляет непосредственное регулирование уровня напряжения в узле, исходя из степени его «жесткости». Регулирование может осуществляться посредством загрузки/разгрузки синхронных компенсаторов, генераторов или статических тиристорных компенсаторов реактивной мощности (СТК), использования устройств компенсации реактивной мощности или же устройств регулирования под нагрузкой (РПН). То есть осуществляется выбор управляющего воздействия с последующей оценкой эффекта по напряжению по всем возможным вариантам. При этом поддержание уровня напряжения в системе должно соответствовать следующим критериям:

- уровень напряжения должен находиться в заданных пределах, установленных государственными стандартами;
- соблюдения условия обеспечения запаса устойчивости энергосистемы;
- максимальное возможное снижение потерь в электрических сетях;
- поддержание значений напряжения в пределах, предусмотренных для конкретного оборудования на подстанции и сетей с учетом предельно допустимых величин при работе на промышленной частоте.

Сети, имеющие различные уровни номинальных напряжений, в режимном отношении взаимосвязаны, поэтому очень важно учитывать системный эффект регулирующих устройств. Системный эффект определяет важнейший критерий регулирования напряжений – экономический, отражающий соблюдение режимных и технических ограничений по допустимым уровням напряжения и диапазону регулирующих устройств.

После того, как выбран окончательный вариант регулирования напряжения, оптимальный для конкретно данных условий, осуществляется непосредственно режимное управление. По окончании идет уведомление о завершении процесса, затем осуществляется закрепление данных и цикл возвращается к началу.

В случае существенного отклонения параметра от установленных нормируемых величин экспертный блок идентифицирует уровень напряжения по уровню его отклонения: либо наблюдается снижение напряжения, либо повышение напряжения.

Из этого следуют дальнейшие действия системы, которые связаны с выбором управляющего воздействия по решению вопроса регулирования напряжения. Специальным агентом осуществляется сбор сведений о величине напряжения, затем определяется способ его регулирования с учетом имеющихся ресурсов. При этом способ регулирования выбирается не случайным образом, а с учетом его результативности. Для этого осуществляется оценка эффективности по напряжению. Данное действие связано с последующим шагом, которое осуществляет анализ по критерию возможности исчерпания мер по

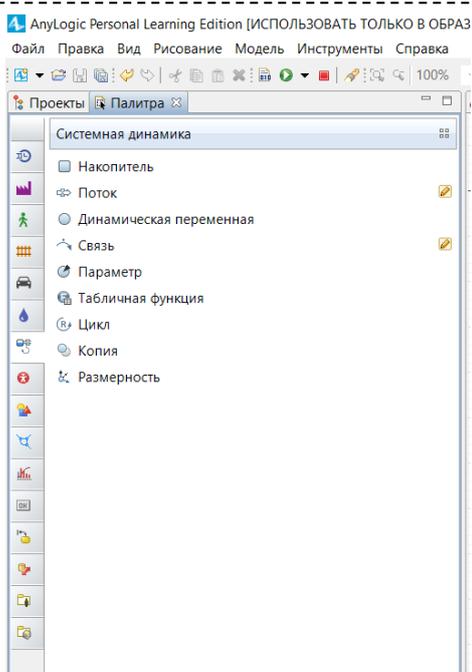


Рис. 2. Палитра компонентов для имитационного моделирования

Fig. 2. The palette of components for simulation modeling

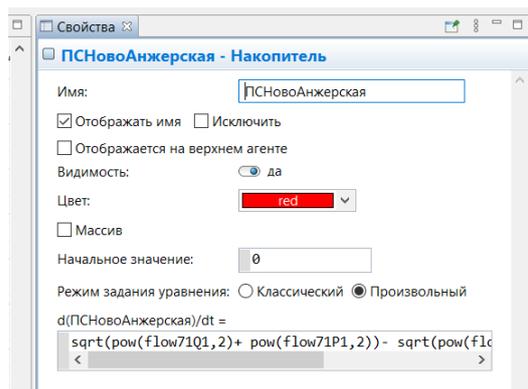


Рис. 3. Панель свойств элемента «накопитель»

Fig. 3. The properties panel of the «drive» element

устранения ненормального режима с помощью выбранного варианта. На этом этапе процесс регулирования напряжения может завершиться, а может продолжиться в случае невозможности выбранного способа отрегулировать напряжение в случае исчерпания мер по нормализации режима. Здесь возможна координация с другими элементами системы, каждый из которых будет в реальной системе представлен модулем-агентом. Модули-агенты реагируют на возмущения в системе и на запрос смежного агента и таким образом находятся в поиске подбора оптимального варианта для нормализации режимной ситуации. После того, как вариант найден, цикл идет к завершению.

Таким образом осуществляется работа агентов и координация их действий при решении задачи по регулированию напряжения и оптимизации режимной обстановки.

## Реализация имитационной модели участка СЭС Кемеровской области-Кузбасса для регулирования напряжения

Программный комплекс Any Logic обладает обширной палитрой, которая содержит различные компоненты для создания имитационной модели. Построение имитационной модели зависит от правильно подобранных компонентов моделирования, т. к. каждый из представленных наборов в палитре отражает определенные свойства и конкретные свойства.

Для модели регулирования напряжения выберем графу из палитры с «системной динамикой» (рис. 2).

Системной динамикой в имитационном моделировании считается инструмент, который позволяет понять структуру и динамику исследуемых систем. Кроме этого, системная динамика является достаточно сложным методом моделирования, использующийся для реализации моделей микромиры-симуляторы, где пространство и время могут быть сжаты и замедлены таким образом, чтобы появилась возможность изучения последствий выбранных решений. ПК AnyLogic — это один из немногих инструментов, позволяющий комбинировать методы системной динамики и дискретно-событийное моделирование.

Имитационная модель будет включать в себя две подстанции для упрощения расчетов и исключения большого количества связей. Каждую подстанцию представим в виде накопителя. Накопитель представляет собой объект реального мира, который сосредоточил в себе определенный ресурс. Накопитель также называют уровнем или фондом в имитационной модели, так как значения в данном модуле изменяются непрерывно с течением времени.

В качестве «накопителей» будут выступать ПС Ново-Анжерская кВ и Беловская ГРЭС 500 кВ (рис. 3).

В конкретном случае накопитель будет осуществлять расчет полной мощности. Полная мощность высчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

где  $P$  – активная мощность ПС, кВт;  $Q$  – реактивная мощность на ПС, кВт;

Далее необходимо отобразить потоки мощности в данном узле. Для этого моделируется переток с помощью компонента «поток». «Поток» — это активный элемент имитационного моделирования, которые могут менять значения накопителей. Именно за счет перетоков создается возможность моделирования системы с изменяющимися параметрами. В свою очередь, накопители определяют численную величину перетоков.

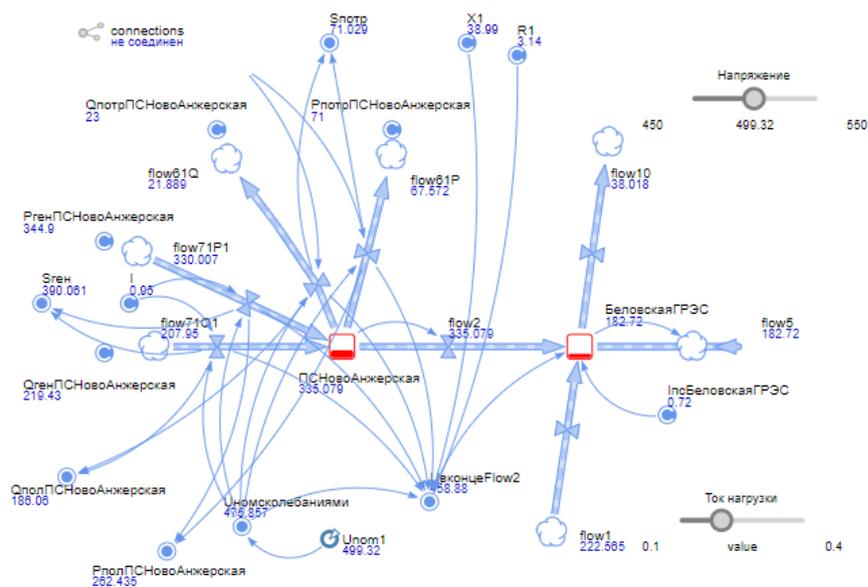


Рис. 4. Имитационная модель узла энергосистемы Кузбасса  
 Fig. 4. Simulation model of the Kuzbass power system node

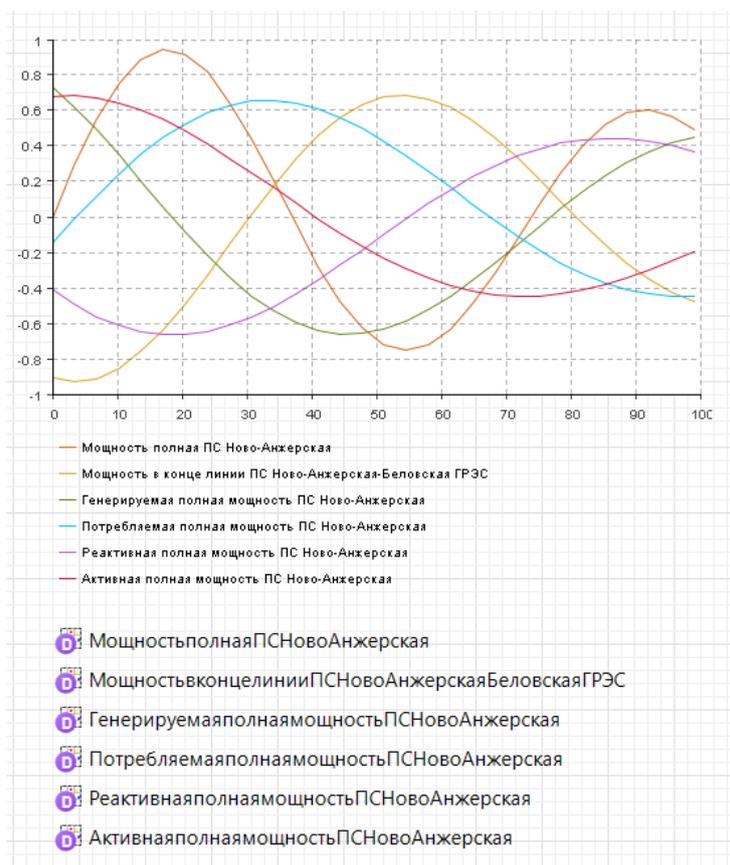


Рис. 5. Изменение мощности во времени на участке системы  
 Fig. 5. Power change over time in the system section

Построение динамической модели не ограничивается набором из двух компонентов. Исходные параметры здесь также задаются определенными компонентами. При этом возможно два варианта задания исходной информации: либо «динамической переменной», либо просто «параметром». Отличие заключается главным образом в том, что исходные данные, реализованные компонентом «параметр»,

можно контролировать в реальной модели и изменять их величину. Компонент «динамическая переменная» позволяет задавать параметры системы таким образом, чтобы они изображались как константа или, например, в виде зависимости, отображенной формулой.

Исходными параметрами в имитационной модели будут являться:

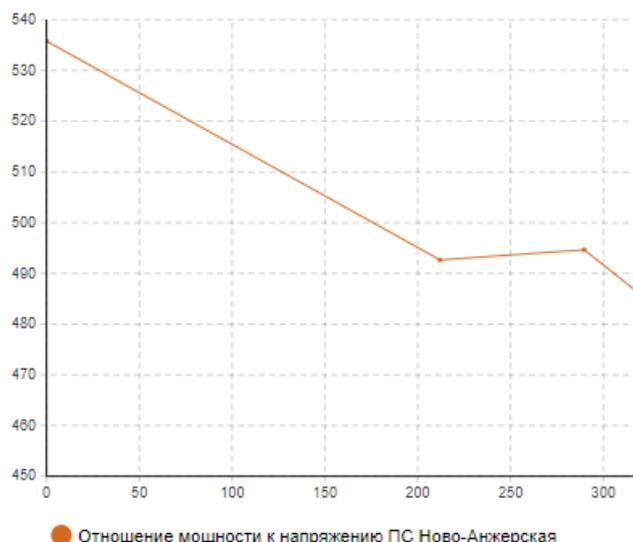


Рис. 6. Изменение напряжения на ПС Ново-Анжерская при увеличении мощности  
 Fig. 6. Voltage change at the Novo-Anzhereskaya substation with increasing power

Таблица 1. Отклонения напряжения при утяжелении режима работы  
 Table 1. Voltage deviations during heavier operation

Наименование узла ЭЭС	Напряжение в установленном режиме	Напряжение при утяжеленном режиме в ПВК RastrWin3	Напряжение при утяжеленном режиме в ПК AnyLogic
ПС Ново-Анжерская	499,32	498,52	499,01
Беловская ГРЭС	484,12	482,28	483,96

- $R, X$  – активные и реактивные сопротивления ЛЭП.
- $P, Q$  – расчетные параметры активных и реактивных мощностей на подстанциях.
- $I$  – расчетный ток нагрузки.
- $U$  – напряжение в узлах системы при нормальном режиме работы.

На рис. 4 изображена реализованная имитационная модель.

Для наглядности отображения расчетных данных были смоделированы специальные «бегунки», позволяющие регулировать расчетное напряжение и ток нагрузки, тем самым отслеживая динамику изменения напряжения во времени при утяжелении режима.

Наглядно изменение напряжения можно изобразить с помощью графиков. При изменении тока нагрузки наблюдается изменение расчетной мощности во времени (рис. 5). Данный факт объясняется тем, активная и реактивная мощности находятся в прямой зависимости от тока и коэффициента мощности:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi; \\ Q &= U \cdot I \cdot \sin \varphi; \end{aligned} \quad (2)$$

Достоверность полученных результатов подтверждает график распределения нагрузки во времени. Как можно увидеть, наличие индуктивной составляющей влечет за собой появление отрицательной части в расчете полной, что снижает ее среднее

значение. Такой характер графика проявляется из-за наличия фазового сдвига, который объясняется тем, в какой-то момент времени ток и напряжение находятся в противофазе, поэтому появляется отрицательное значение полной мощности.

Также был построен график изменения напряжения во времени при изменении нагрузки на подстанции (рис. 6).

Для контроля напряжения в системе изначально был отстроен диапазон, который сдерживает стремительное снижение или повышение напряжения. Для этого в имитационную модель были внесены области допустимых значений, выход за пределы которых предотвращался системой самостоятельным регулированием потоков мощности.

Для оценки эффективности работы модели с мультиагентным подходом сравниваются полученные показания с результатами, полученными в программном комплексе RastrWin3 при том же утяжелении режима (таблица 1). Для того, чтобы сравнительный анализ получился более корректным, расчет в модели осуществляется в жестких узлах энергосистемы, т. к. они менее восприимчивы к изменению режима.

Полученные результаты говорят о том, что при тех же возмущениях отклонения напряжения в системе, реализованной с помощью мультиагентного подхода, незначительно отличаются от величин, полученных в ходе расчет в ПВК RastrWin3. Имитационная модель показала отклонения напряжения в узлах на 0,2% и 0,06%, в то время как модель в

RastrWin3 показала снижение напряжения на 0,16% и 0,38% при одинаковом увеличении нагрузки на подстанциях. Погрешность при расчетах составила не более 1,2%.

Стоит отметить, что использование мультиагентного подхода дает возможность проводить расчет отдельных подсистем параллельно друг от друга, что во многом упрощает решение поставленных задач. Некоторые участки системы можно рассматривать локально, имея только знания о зависимостях некоторых объектов в рассматриваемой среде.

#### Выводы

Основной целью построения имитационной модели на базе мультиагентного подхода является оценка принципиально новой методики для решения задач оптимизации СЭС. Помимо полученных сравнительных характеристик от реализации МАС необходимо выделить перспективность и актуальность такой методики по сравнению с традиционными способами оптимизации. Классические методы нацелены на поиск конкретного алгоритма, который позволил бы найти наилучшее решение проблемы в рамках поставленной проблемы в то время, как в мультиагентных системах решение реализуется автоматически благодаря взаимодействию множества самостоятельных целенаправленных агентов – модулей, в качестве которых может выступать как аппаратная, так и программная сущность..

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 № 208 «О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. // – Режим доступа: publicationpra.vo.gov.ru/Document/View/0001201705150001?index=0&rangeSize=1.
2. Распоряжение правительства Российской Федерации от 3.04.2013 № 511-р «Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации» [Электронный ресурс]. // – Режим доступа: <http://www.rosseti.ru/about/mission/511R.pdf>.
3. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 г» [Электронный ресурс]. // – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94054/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/).

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 321-р «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Электронный ресурс]. // – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499091759> – Загл. с экрана

5. Федеральный закон от 26.12.2018 № 22–03 «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Кемеровской области до 2035 г.» [Электронный ресурс]. // – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499091759> – Загл. с экрана

6. Москалева К. А. Применение мультиагентных систем в электроэнергетике Кузбасса // Сборник трудов III Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения». 2018. № 1(1). С.109.1-109.5.

7. Паскарь И. Н., Москалева К. А. Оптимизация СЭС Кемеровской области посредством мультиагентного подхода // Горное оборудование и электромеханика. 2020. №1. С. 45-52.

8. Черезов А. В. Мультиагентные технологии: новые возможности для российской электроэнергетики [Электронный ресурс]. // Состояние и перспективы развития ТЭК России. 2018. с. 166-170. Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/ТЕК/Soderzhanie/Tom%2015/III/Cherezov.pdf>.

9. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего [Текст]; введ. 2014-07-01. Москва: Стандартинформ

10. Как искусственный интеллект применяют в российской энергетике. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <http://24ri.ru/down/open/kak-iskusstvennyj-intellekt-primenjajut-v-rossijskoj-energetike.html>

11. McArthur S. D. J., Davidson E. M., Catterson V. M. e.a. Multi-agent systems for power engineering applications – Part I: Concepts, approaches, and technical challenges // IEEE Transactions on Power Systems, 2007, Vol.22, No.4, p. 1743-1752.

12. McArthur S. D. J., Davidson E. M., Catterson V. M. e.a. Multi-agent systems for power engineering applications – Part II: Technologies, standards, and tools for building multi-agent systems // IEEE Transactions on Power Systems. 2007. Vol.22. No.4. p. 1753-1759.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Об авторах:

**Паскарь Иван Николаевич**, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), [paskar-ivan@mail.ru](mailto:paskar-ivan@mail.ru)  
**Москалева Ксения Алексеевна**, магистрант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Заявленный вклад авторов:

Паскарь И.Н. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Москалева К.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-36-45

Ivan N. Paskar\*, senior lecture, Kseniya A. Moskaleva, undergraduate

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\*E-mail: paskar-ivan@mail.ru

## REGULATION OF VOLTAGE IN THE POWER SYSTEM USING A MULTI-AGENT APPROACH



### Article info

Received:

12 September 2021

Accepted for publication:

20 January 2022

Accepted:

15 February 2022

**Keywords:** Simulation modeling, multi-agent systems, optimization, voltage regulation.

### Abstract.

The existing centralized power system management system does not fully consider the needs of all participants in the process of electricity production, distribution, and consumption. One of the possible solutions to the issues of voltage regulation in the conditions of the formation of digital energy is the use of multi-agent systems. The analysis of the energy area from the Novo-Anzherskaya 500 kV PS to the Belovskaya GRES of the electric power complex of the Kuzbass is carried out, the calculation results are compared between the RastrWin and AnyLogic program. Using a multi-agent approach allows you to calculate individual subsystems in parallel from each other, which greatly simplifies the solution of the tasks.

**For citation:** Paskar I.N., Moskaleva K.A. Regulation of voltage in the power system using a multi-agent approach. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 1(159):36-45 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-36-45

### REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 13.05.2017 № 208 «O strategii ekonomicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: publicationpravo.gov.ru/Document/View/0001201705150001?index=0&rangeSize=1.
2. Rasporyazheniye pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 3.04.2013 № 511-r «Strategiya razvitiya elektrossetevogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.rosseti.ru/about/mission/511R.pdf>.
3. Rasporyazheniye Pravitelstva RF ot 13.11.2009 N 1715-r «Ob energeticheskoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 g» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94054/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/).
4. Rasporyazheniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 13.11.2009 № 321-r «Energoeffektivnost i

razvitiye energetiki» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/499091759>.

5. Federalnyy zakon ot 26.12.2018 № 22–03 «Ob utverzhdenii strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Kemerovskoy oblasti do 2035 g.» [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/499091759>.

6. Moskaleva K. A. Primeneniye multi-agentnykh sistem v elektroenergetike Kuzbassa. *Sbornik trudov III Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologicheskkiye problemy promyshlennoy razvitykh i resursodobyvayushchikh regionov: puti resheniya»*. 2018; 1(1):109.1-109.5

7. Paskar I. N., Moskaleva K. A. Optimizatsiya SES Kemerovskoy oblasti posredstvom multiagentnogo podkhoda. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika*. 2020; 1:45-52.

8. Cherezov A. V. Multiagentnyye tekhnologii: novyye vozmozhnosti dlya rossiyskoy elektroenergetiki [Elektronnyy resurs]. Sostoyaniye i perspektivy

razvitiya TEK Rossii – 2018 – s.166-170. – Rezhim dostupa: <http://federalbook.ru/files/TEK/Soderzhanie/Tom%2015/III/Cherezov.pdf>– Zagl. s ekrana

9. GOST 32144–2013 Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego [Tekst]; vved. 2014–07–01. Moskva: Standartinform

10. Kak iskusstvennyy intellekt primenyayut v rossiyskoy energetike. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://24ri.ru/down/open/kak-iskusstvennyj-intellekt-primenjajut-v-rossijskoj-energetike.html>

11. McArthur S. D. J., Davidson E. M., Catterson V. M. e.a. Multi-agent systems for power engineering applications – Part I: Concepts, approaches, and technical challenge. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2007; 22(4):1743-1752.

12. McArthur S. D. J., Davidson E. M., Catterson V. M. e.a. Multi-agent systems for power engineering applications – Part II: Technologies, standards, and tools for building multi-agent systems. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2007; 22(4):1753-1759.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

**Ivan N. Paskar**, senior lecture, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), [paskar-ivan@mail.ru](mailto:paskar-ivan@mail.ru)

**Kseniya A. Moskaleva**, undergraduate, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation)

*Contribution of the authors:*

Ivan N. Paskar – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Kseniya A. Moskaleva – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*