

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЁННОГО РЕЕСТРА

¹Шишков Е.М., ²Солдусова Е.О., ²Проничев А.В.

¹Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
Новокуйбышевск, e-mail: e.m.shishkov@ieee.org;

²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
Самара, e-mail: esoldusova@inbox.ru

Одним из перспективных направлений для поиска решений задач управления режимами и коммерческого учёта электроэнергии в электроэнергетических системах является применение технологий распределённого реестра – Blockchain. В работе предложен алгоритм работы автоматизированной системы управления режимами работы изолированной электрической сети с возобновляемыми источниками энергии, направленный на сокращение требуемого резерва генерирующей мощности. Математическое моделирование и расчет электрических режимов микрогрида были произведены в программе RastrWin3 с целью учета потерь в электроэнергетической системе. В процессе моделирования была получена зависимость мощности на балансирующем узле от количества узлов нагрузки для разного отношения собственной генерации к потреблению в узле. Расчеты показывают, что использование распределённой генерации в малых изолированных энергосистемах является экономически оправданным.

Ключевые слова: Blockchain, микрогрид, солнечная энергетика, распределенная генерация

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR CONTROLLING ELECTRICAL REGIMES OF THE ISOLATED ELECTRIC POWER SYSTEM USING THE DISTRIBUTED LEDGER

¹Shishkov E.M., ²Soldusova E.O., ²Pronichev A.V.

¹Branch of Samara State Technical University, Novokuybyshevsk, e-mail: e.m.shishkov@ieee.org;

²Samara State Technical University, Samara, e-mail: esoldusova@inbox.ru

One of the promising directions for finding solutions to the problems of regimes management and commercial electricity accounting in electric power systems is the application of distributed ledger technologies – Blockchain. The algorithm of operation of an automated energy resource management system aimed at reducing the required capacity reserve is proposed. Mathematical modeling and calculation of the microgrid electric regimes were performed in the RastrWin3 program with the aim of accounting for losses in the electric power system. During the simulation it was obtained dependence of the power at the slack node from the number of load nodes for a different ratio of own generation to consumption in the node. The use of distributed generation is economically justified in small isolated electricity system.

Keywords: Blockchain, microgrid, photovoltaics, distributed generation

Современная электроэнергетика – одна из самых наукоёмких и технологичных отраслей промышленности. Одним из перспективных направлений для поиска решений задач управления режимами и коммерческого учёта электроэнергии в электроэнергетических системах является применение технологий распределённого реестра – Blockchain, что обусловлено повышением доступности возобновляемых источников энергии, объединяемых в системы с распределённой генерацией [1–3].

В настоящее время в РФ ввиду законодательных ограничений, налагаемых на операции на розничном и оптовых рынках электроэнергии, применение систем с распределённой генерацией затруднено для энергосистем, работающих параллельно с объединёнными энергосистемами. Однако

основанные на технологиях распределённого реестра принципы функционирования рынка электрической энергии возможно применить в рамках небольших изолированных энергосистем – микрогридов. На данный момент около 40% территории РФ не имеют связи с единой энергосистемой.

Для осуществления электроснабжения на данных территориях существуют три основные альтернативы:

1. Строительство ЛЭП. Однако данный способ является самым неэкономичным, поскольку сетевые организации будут нести серьезные убытки от длинных линий при их малой загрузке.

2. Установка дизельного генерирующего оборудования. Данный способ имеет наименьшие начальные вложения, но требует дополнительных затрат на покупку топлива и является самым неэкологичным.

3. Установка станций на возобновляемых источниках энергии. Несмотря на повышение доступности подобных станций, их стоимость остается достаточно высокой. Однако данный вид генерации является самым экологически чистым и при этом не требует дополнительных расходов на эксплуатацию.

В данной работе предлагается использование автоматического устройства, реализующего технологию Blockchain, для учёта переданной и потреблённой в каждом узле сети электроэнергии посредством системы самоисполняемых контрактов, а также осуществляющего функции автоматизированного управления режимами микрогрида.

Целью настоящей работы является обоснование и реализация принципов управления режимами и коммерческого учёта электроэнергии в микрогридах с помощью автоматического устройства, реализующего технологию Blockchain. Управление режимом в данном случае направлено на сокращение необходимых резервов мощности с учётом требуемого уровня надёжности электроснабжения и качества электроэнергии. При этом рыночный механизм

в рамках микросети организован на основе подходов [4–5].

На данном этапе работы решаются следующие задачи:

- разработка алгоритма управления режимами микрогрида;
- математическое моделирование и расчёт электрических режимов микрогрида;
- экономическое обоснование работы собственных источников энергии в узлах микрогрида.

Расчет режима работы рассматриваемой системы был произведен в программе RastrWin3 с целью учета потерь в электроэнергетической системе.

Схема электроснабжения 0,4 кВ состоит из 20 узлов нагрузки и одного балансирующего узла (рис. 1). Каждый узел – это дом с собственной генерацией в виде небольшой солнечной электростанции в комбинации с аккумуляторными батареями. Активная нагрузка каждого дома (узла) – 5 кВт, коэффициент мощности 0,95. В качестве балансирующего узла в реальной системе может выступать вторичная обмотка трансформатора 6(10)/0,4 кВ, либо дизель-генераторная установка (ДГУ).

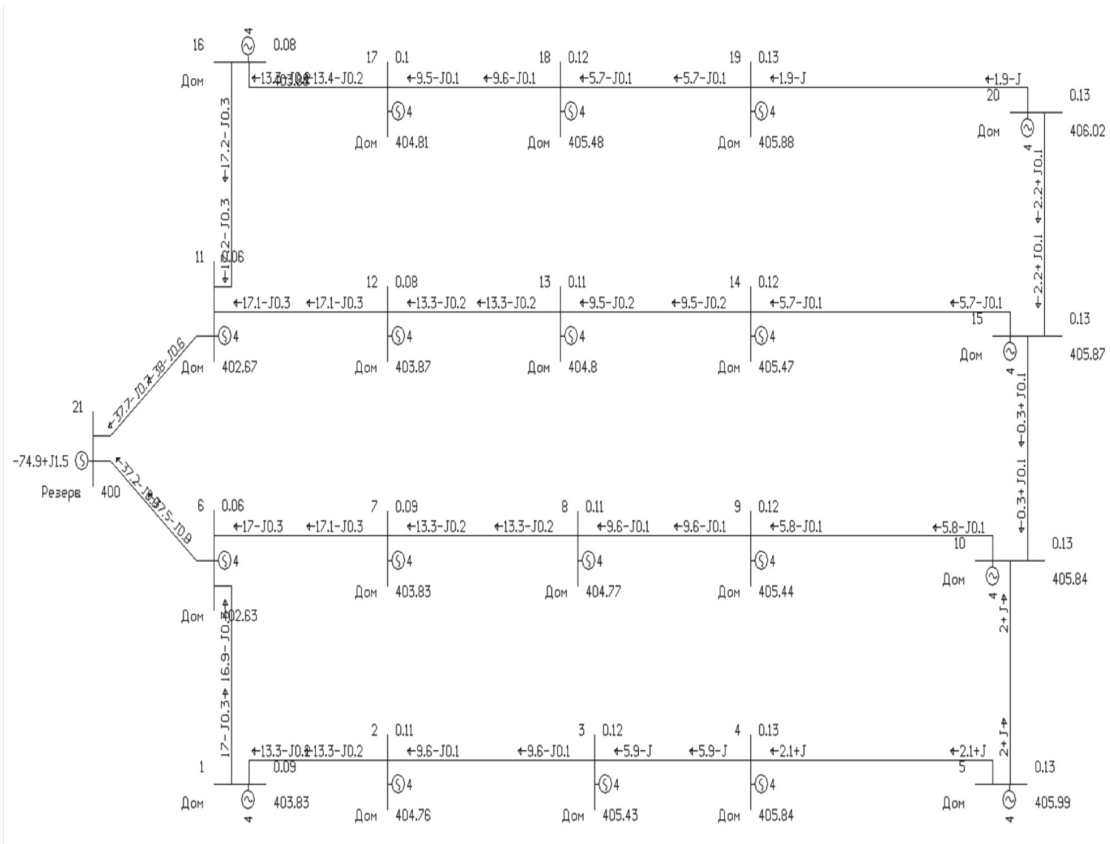


Рис. 1. Модель изолированной энергосистемы в программе RastrWin3

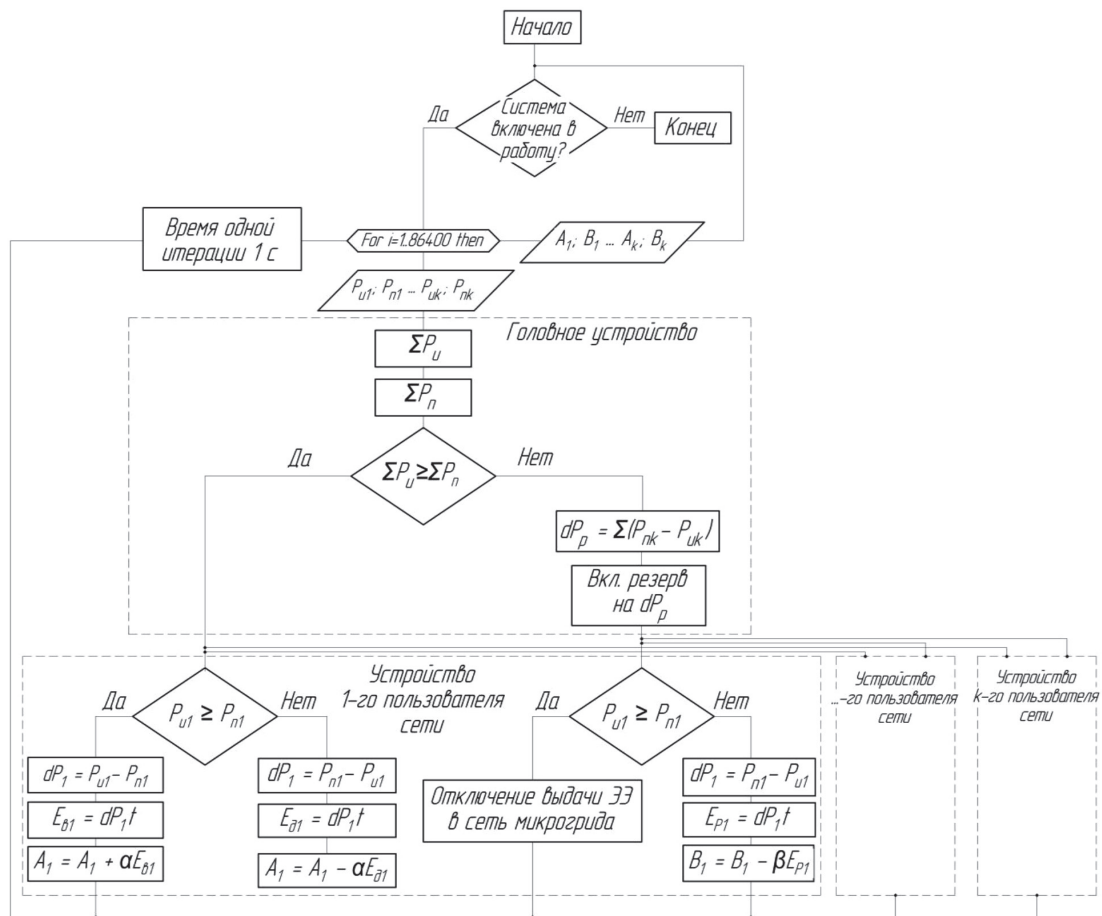


Рис. 2. Алгоритм управления изолированной энергосистемой

На рис. 2 представлен алгоритм управления изолированной энергосистемой, где P_{uk} – мощность собственной генерации k -го пользователя сети; P_{nk} – потребляемая мощность k -го пользователя сети; ΣP_u – суммарная мощность собственной генерации; ΣP_n – суммарная потребляемая мощность; dP_k – разность потребляемой и генерируемой мощности в узле; dP_p – мощность вводимого резерва; E_{ek} – электроэнергия, выдаваемая в сеть k -м её пользователем; E_{dk} – электроэнергия, потребляемая из сети k -м её пользователем; E_{pk} – электроэнергия, потребляемая k -м пользователем сети из резерва; α – тариф на внутрисетевую электроэнергию во внутренней валюте; β – тариф на электроэнергию из резерва в реальной валюте; A_k – баланс k -го пользователя сети во внутренней валюте; B_k – баланс k -го пользователя сети в реальной валюте.

После подачи сигнала о введении в работу на головное устройство в системе на-

чинается непрерывный расчет и запись баланса активной мощности в энергосистеме с дискретностью 1 с.

В случае соблюдения баланса мощности или незначительном превышении генерируемой ΣP_{nk} над потребляемой мощностью ΣP_{nk} – соответствующий сигнал подается на каждое ведомое устройство в сети. В ведомом устройстве пользователя ведется расчет локального баланса активной мощности, от которого зависит дальнейший учет балансов пользователя в реальной и внутренней валютах.

Если в доме k -го пользователя сети имеется избыток по генерируемой активной мощности P_{nk} , то он выдает ее в сеть микрогрида. При этом ведомое устройство, выступая в качестве счетчика электроэнергии, ведет запись выданной в сеть микрогрида электроэнергии E_{vk} . Эта энергия продается в сеть по тарифу во внутренней валюте α , тем самым пополняя соответствующий баланс пользователя A_k .

В случае дефицита активной мощности у k -го пользователя – энергия E_{dk} потребляется из сети, уменьшая пропорционально тарифу во внутренней валюте α соответствующий баланс пользователя.

Рассмотрим такую ситуацию, когда собственной электроэнергии в микрогриде не хватает – потребляемая мощность ΣP_{nk} превышает генерируемую $\Sigma P_{ик}$. В этой ситуации по сигналу головного устройства происходит автоматический ввод резерва на заданную им мощность. Сигнал также подается на каждое ведомое устройство сети.

Если в таком режиме у k -го пользователя имеется избыток генерируемой активной мощности – он не имеет возможности выдать ее в сеть.

В случае же дефицита активной мощности – энергия E_{pk} будет потребляться из резерва, уменьшая баланс пользователя в реальной валюте B_k пропорционально реальному тарифу на электроэнергию β .

В качестве головного и ведомых устройств в реальной системе планируется использование промышленных программируемых контроллеров, например «ОВЕН».

Для расчетов использовались 5 вариантов солнечных электростанций, в комплект каждой из которых входят: солнечные панели, крепеж, инвертор, аккумуляторные ба-

тареи. Их установленные мощности равны: 0,8; 2,4; 3; 3,2; 4 кВт.

В процессе моделирования исследовалась зависимость мощности на балансирующем узле от количества узлов нагрузки для разного отношения собственной генерации к потреблению в узле. Нагрузка в узлах отключалась в порядке постепенного приближения к балансирующему узлу.

В случае положительной мощности на балансирующем узле наблюдается нехватка активной мощности в системе. В таком случае недостающая энергия будет восполняться из внешней энергосистемы (либо от ДГУ).

В случае отрицательной мощности на балансирующем узле наблюдается избыток активной мощности в системе, и он выступает в роли нагрузки. В реальной системе избыток мощности не будет отдаваться во внешнюю энергосистему ввиду законодательного запрета на подобную деятельность, а будет накапливаться в аккумуляторах в каждом узле нашей системы (доме). Полученный график зависимости представлен на рис. 3.

Расчеты показывают (табл. 1), что при увеличении установленной мощности в каждом узле – возможна одновременная работа большего числа узлов без получения электроэнергии из внешней энергосистемы.

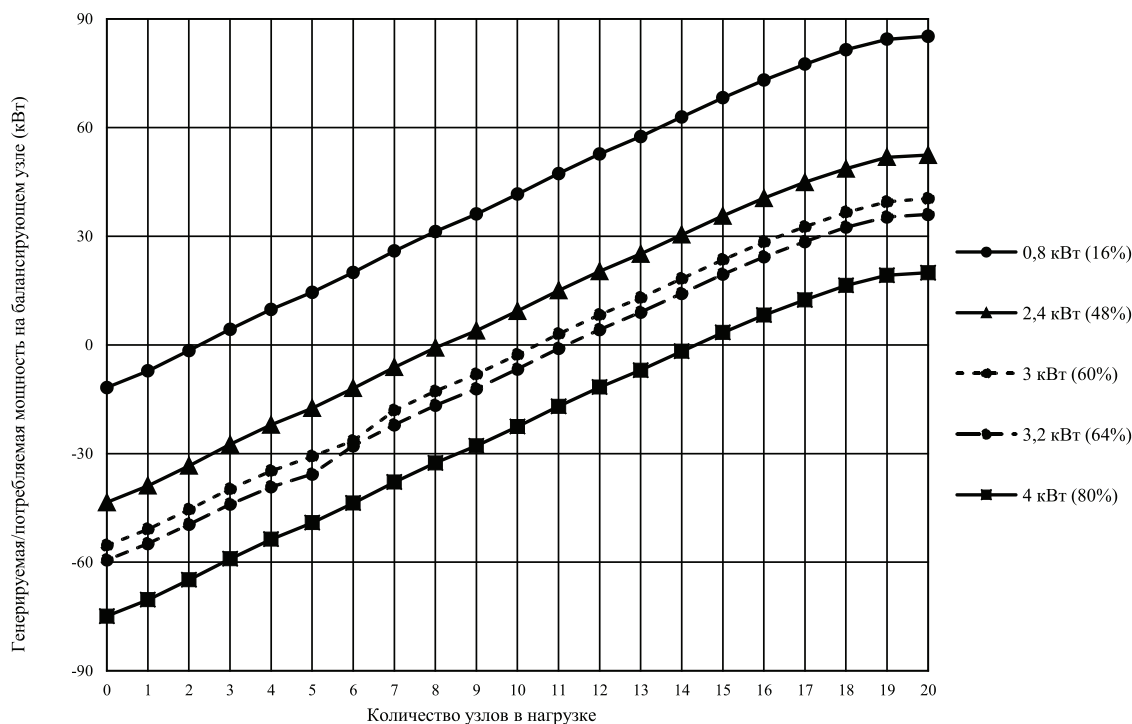


Рис. 3. График зависимости мощности на балансирующем узле от количества узлов в нагрузке

Таблица 1

Результаты анализа режимов работы микрогрида

Установленная мощность в узле (кВт)	Соотношение выработки и потребления в узле (%)	Количество узлов, одновременно находящихся в нагрузке
0,8	16	2
2,4	48	8
3	60	10
3,2	64	11
4	80	14

Таблица 2

Результаты анализа эффективности

Собственная генерация (кВт)	Собственная выработка за год (кВт×ч)	Экономия средств в год (руб)	Срок окупаемости
0,8	70080	180105,6	8,0
2,4	210240	540316,8	5,1
3	262800	675396	5,6
3,2	280320	720422,4	5,7
4	350400	900528	7,8

При одновременном потреблении меньшего числа узлов – электроэнергия будет запасаться в аккумуляторах в каждом узле.

Таким образом, при нехватке электроэнергии в системе ее восполнение будет происходить за счет энергии накопленной внутри системы, а не извне.

Экономическая эффективность

Для каждого из пяти вариантов комплектов солнечных электростанций была рассчитана стоимость оборудования для всего поселка. Эта стоимость включает в себя саму солнечную станцию, а также стоимость устройства АСКУЭ.

Зная количество узлов с собственной генерацией, был произведен расчет их выработки, считая, что выработка происходит 12 часов в сутки.

По действующему тарифу электроэнергии на напряжение 0,4 кВ был произведен расчет экономии средств и срока окупаемости. Наибольшим оказался срок 8 лет, что соответствует самому неблагоприятному варианту, а именно системе из двух домов в дачном массиве. Однако даже такой срок окупаемости оказался в два раза меньше срока службы солнечной станции, который составляет 20 лет. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Однако, расчет срока окупаемости был произведен исходя из того, что не была учтена купля-продажа энергии внутри системы, а было учтено количество электроэнергии, которое не нужно покупать из

внешней энергосистемы за счет собственной генерации.

Но если работает система Blockchain и отдельному потребителю не хватает собственной генерации, то он покупает её у того, у кого она в избытке, за собственную внутрисетевую валюту.

Рассмотрим конкретный пример. Если в дачном доме установленная мощность нагрузки 6 кВт, то при 24 участниках в системе достаточно установить станцию 0,8 кВт (табл. 3), то есть снизить установленную мощность станции одного участника в 7,5 раз.

Таблица 3

Расчет мощности собственной станции по числу участников

Мощность собственной станции (кВт)	0,8	1,5	2,4	3,2	4
Число участников	24	13	7	3	2

Выводы

- Использование распределённой генерации в малых изолированных энергосистемах является экономически оправданным: срок окупаемости устройств распределённой генерации значительно меньше срока их эксплуатации.

- Увеличение числа участников микрогрида приводит к значительному снижению установленной мощности генерации и, следовательно, её стоимости.

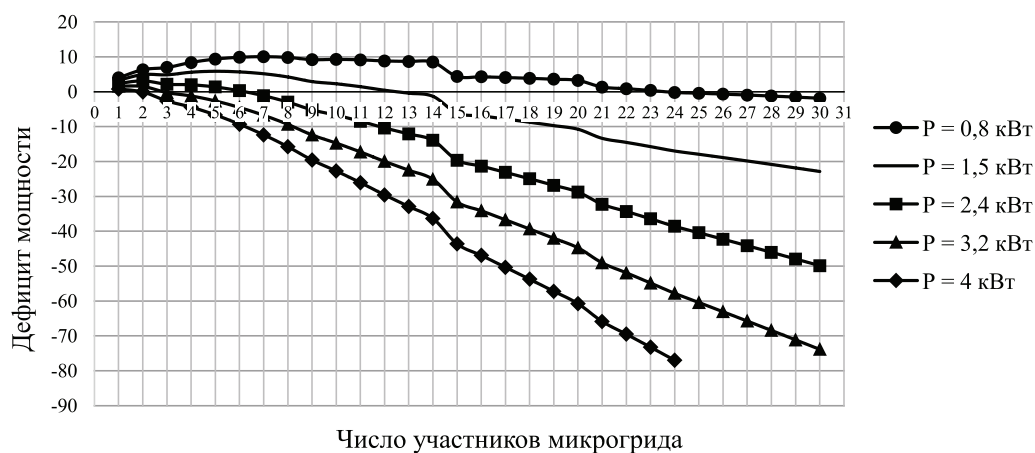


Рис. 4. График зависимости дефицита мощности от числа участников микрогрида

- Для организации взаиморасчётов между собственниками объектов малой генерации в микрогриде возможно применение технологии распределенного реестра;

- Рассматриваемая система взаиморасчётов хорошо масштабируется и может быть применена не только в рамках микрогрида, но и при объединении нескольких микрогридов в единую сеть.

Список литературы

1. Arnold G.W. Challenges and opportunities in smart grid: a position article // Proceedings of the IEEE. – 2011. – vol. 99, № 6. – P. 922–927.

2. Mengelkamp E., Gartner J., Rock K., Kessler S., Orsini L., Weinhardt C. Designing microgrid energy markets; A case study: The Brooklyn Microgrid // Applied Energy. – 2017. – № 185. – P. 1–8.

3. Mohan V., Singh J., Ongsakul W. An efficient two stage stochastic optimal energy and reserve management in a microgrid // Applied Energy. – 2015. – № 160. – P. 28–38.

4. Block C., Neumann D., Weinhardt C. A Market Mechanism for Energy Allocation in Micro-CHP Grids // Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences. – 2008. – P. 1–11.

5. Pascual J., Barricarte J., Sanchis P., Marroyo L. Energy management strategy for a renewable-based residential microgrid with generation and demand forecasting // Applied Energy. – 2015. – № 158. – P. 12–25.