P2P ТОРГОВАЯ ПЛАТФОРМА-БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ДОМОХОЗЯЙСТВ С СОБСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

АВТОРЫ:

И.Н. ПЕРЕКАЛЬСКИЙ,
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА

С.Е. КОКИН, Д.Т.Н.,
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА

Д.А. КУПЦОВ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА

Все более широкое использование возобновляемых источников энергии в современных домохозяйствах порождает насущную необходимость создания торговой платформы, где можно реализовать торговлю энергией между различными домохозяйствами, обеспечивая при этом автоматизацию и информационную безопасность подобных сделок.

Ключевые слова: интернет вещей; микросеть; умный дом; блокчейн; этериум; смарт-контракт; умные сети электроснабжения.

Блокчейн — «цепочка блоков» — это база данных, которая представляет собой непрерывную цепь из блоков, хранящихся на разных компьютерах

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России действует программа поддержки «зеленой» энергетики. Россия обладает достаточно высоким уровнем солнечной инсоляции — у нас есть довольно много районов, где среднегодовой приход солнечной радиации составляет 4–5 кВт·ч на 1 м^2 в день (этот показатель соизмерим с югом Германии и севером Испании — районами стран — лидеров по внедрению солнечных систем). При этом высокий уровень инсоляции существует в России не только на юге — Краснодарском крае, Ростовской области, Кавказе, но также на Алтае, в целом на юге Сибири, Дальнем Востоке и в Забайкалье — в этих регионах количество солнечных дней в году доходит до 300 [1]. Эти факторы, а также постоянное снижение цены на фотоэлементы и накопители приведут к внедрению возобновляемых источников энергии (ВИЭ) не только на уровне большой энергетики, но и на уровне домохозяйств, чему, безусловно, будет способствовать и государственная поддержка, и снижение стоимости данных технологий. С 2010 г. средняя стоимость электроэнергии, выработанной на солнечных (СЭС) и ветровых электростанциях (ВЭС), снизилась на 73 и 22 % соответственно. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) прогнозирует дальнейшее снижение стоимости этих технологий. По расчетам агентства, к 2025 г. стоимость производства электричества на наземных ВЭС снизится на 26 %, оффшорных ВЭС — на 35 %, концентрирующих СЭС — на 37 % и фотоэлектрических СЭС — на 59 %. Также ожидается снижение стоимости технологий хранения энергии на 60 %, а стоимость электрических автомобилей сравняется со стоимостью автомобилей с двигателем внутреннего сгорания к середине 2020-х гг. [2].

Интернет вещей (Internet of things, IoT) уже много лет называют одним из ключевых драйверов цифровой экономики. По оценкам IDC, McKinsey, PwC и иных аналитических агентств, в ближайшее время умные вещи прочно обоснуются в наших домах и офисах, на производствах, в транспортно-логистических цепочках, сельском хозяйстве, добывающей промышленности и т.д. [3]. IoT является технологией, в которой устройства, которые мы используем в быту или производстве, способны подключаться к интернету, генерировать, собирать, обрабатывать и обмениваться огромными объемами данных о своей работе. Следовательно, появляется необходимость защиты конфиденциальной информации, которая может стать объектом кибератак [4].

Умный дом — это технология, позволяющая контролировать и управлять множеством устройств, подключив их через различные каналы связи, интернет и др. К таким устройствам можно отнести бытовую технику и устройства обеспечения безопасности. Подобные устройства зачастую являются приборами с низким энергопотреблением. К сожалению, существующие методы обеспечения защиты информационных каналов для IoT являются дорогими с точки зрения потребления энергии и расходов ресурсов на обработку информации. Устройства с низким энергопотреблением должны будут в первую очередь обеспечивать выполнение своих функциональных обязанностей [5].

Smart grid в России в настоящее время выступает в качестве концепции интеллектуальной активно-адаптивной сети, которая обладает следующими признаками [5]:

- насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;
- большое количество датчиков, измеряющих текущие режимные параметры для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы;
- система сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а также средства

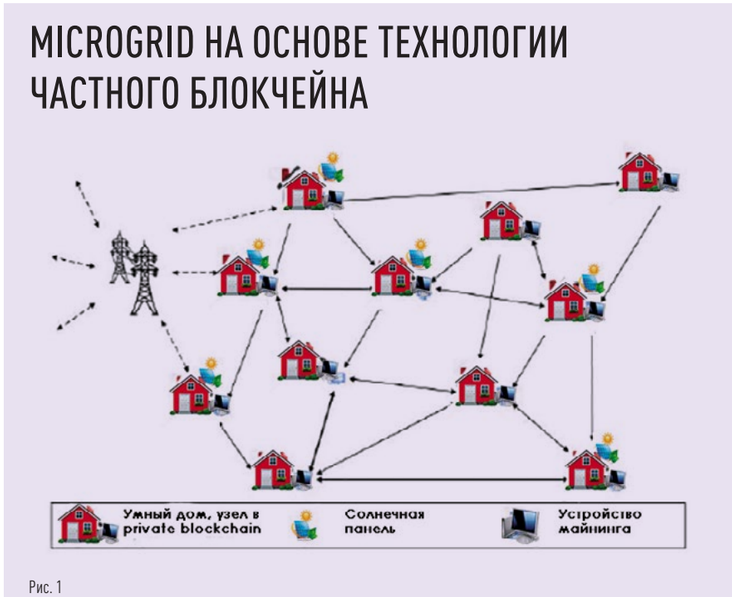

Рис. 1

Блокчейн дословно означает «цепочка блоков». Иными словами — это база данных, которая представляет собой непрерывную цепь из блоков и хранится одновременно на множестве компьютеров. Платформа блокчейн — это распределенная база данных для общего пользования, в которой отсутствует централизованный надзор над процессом. С помощью блокчейн вести учет, хранить данные, совершать транзакции можно в любой сфере жизнедеятельности: финансовые операции; сделки с недвижимостью; страхование; логистика; нарушения ПДД; регистрация браков и многое другое. Первое применение блокчейна на практике произошло в 2009 г., когда на его основе была создана криптовалюта биткоин. Позднее таких криптовалют появилось великое множество на самый разный вкус. В международной торговле технологию впервые опробовали в начале осени 2016 г. Тогда на платформе Wave британским банком Barclays был проведен аккредитив на 100 тыс. долл., обеспечивающий экспорт предприятием из Ирландии Ornua крупной партии молочных продуктов в адрес сейшельской компании. Стандартно такая сделка занимает минимум неделю, здесь на все ушло около четырех часов.

управления активными элементами сети и электроустановками потребителей;
– наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени изменять топологические параметры сети, а также взаимодействовать со смежными энергетическими объектами;
– средства автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;
– высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена;
– способность обеспечивать двусторонние потоки электрической энергии и информации в режиме реального времени между поставщиками электроэнергии и потребителями, создавая автоматизированную сеть обмена энергией [6].

Microgrid — это система, которая включает собственные источники генерации энергии и в критических ситуациях способна взять на себя задачу удовлетворения спроса потребителей. Это своего рода уменьшенная версия централизованной системы электроснабжения [7]. Microgrid могут быть успешно внедрены на уровне домохозяйств в совокупности с ВИЭ и системами накопления энергии (ESS). В комплексе все это сможет обеспечить создание платформы для торговли электрической энергией на местном уровне в сообществе домохозяйств.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной статье предлагается безопасная, автоматизированная децентрализованная торговая платформа для домохозяйств с ВИЭ в рамках *microgrid* с использованием смарт-контракта, реализованного на основе технологии блокчейн.

На рис. 1 представлена схема реализации microgrid на основе технологии частного блокчейна (private blockchain), в которой могут участвовать только авторизованные узлы. Подобная архитектура построения сети может быть абсолютна автономна и самодостаточна в небольших районах. Она способна дополнять существующие энергосистемы, повышая надежность за счет резервирования домохозяйствами друг друга. Каждый узел в microgrid делится на две категории: участник-потребитель, которому необходима электрическая энергия для обеспечения своих домашних потребностей, и участники-продавцы с фотоэлектрическими системами генерации, способными вырабатывать возобновляемую энергию из солнечной энергии. Каждый узел в сети — это умный дом, где находятся устройства IoT, подключенные к интернету, а также имеется ESS, которая может обеспечить хранение купленной или произведенной энергии. Узел-майнер (устройство майнинга) в умном доме может управлять и контролировать устройства IoT и ESS, получать информацию о потребленной энергии. Кроме того, он самостоятельно способен проводить торговые операции с энергией на основе предварительно запрограммированных смарт-контрактов в частном блокчейне.

СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ ЦЕПИ БЛОКЧЕЙН

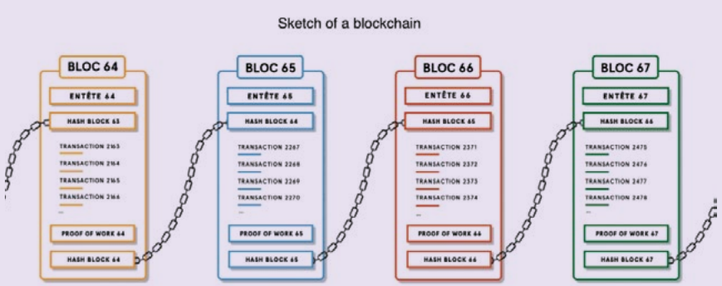

Рис. 2

В статье описываются свойства технологии блокчейн, системы контроля, использования энергии, процессы измерений в умном доме на основе блокчейна. Также дано описание и способы реализации торговой энергетической платформы с использованием смарт-контрактов, представлены результаты исследования.

СВОЙСТВА БЛОКЧЕЙНА

Блокчейн *(blockchain)* — это распределенная база данных, представляющая собой книгу, которая производит непрерывную запись совершающихся транзакций в сети. Из транзакций формируются блоки. В блоке может быть более 2000 транзакций. Из блоков формируется цепь. Каждый следующий блок неразрывно связан с предыдущим через хеш-код (рис. 2), который обеспечивает алгоритм консенсуса Proof-of-Work (PoW).

Любое изменение информации в блоке приведет к пересчету его хеш-кода, соответственно связь с предыдущим блоком будет прервана и такой блок будет отвергнут сетью как некорректный [8]. PoW позволяет осуществить процесс проверки блока его участниками. Узел, который хочет осуществить транзакции, транслирует их на все узлы в пределах сети блокчейн. Определенные конкретные узлы, известные как майнеры, собирают эти транзакции в блоки и пытаются разгадать криптографическую головоломку, заключающуюся в угадывании хеш-кода предыдущего блока [9]. Узел, который решит головоломку первым, сгенерирует новый блок и будет транслировать его на все узлы в сети. Узлы принимают блок, только если все транзакции в нем действительны и не были проведены ранее. Когда блок проверен и добавлен в цепь, его изменение уже невозможно; это называется обеспечением целостности информации.

Транзакция является средством передачи информации на другие узлы для записи в блокчейн. Каждая транзакция требует действительной цифровой подписи, которая может быть сгенерирована цифровым ключом. Использование цифровой подписи обеспечивает аутентификацию и конфиденциальность создателя транзакции. Каждая транзакция подтверждается большинством узлов-участников согласно правилам консенсуса алгоритма PoW [10].

Существуют ***два типа блокчейна:*** публичный (public) и частный. В публичном блокчейне реализованы такие платформы, как биткоин [8] или ethereum (ETH) [11], он позволяет узлам-участникам входить в сеть без каких-либо ограничений. В этой сети все транзакции проверяются и распределяются между всеми узлами в сети.

В частном блокчейне узлы-участники, которые могут участвовать в обработке транзакций и формировании блоков, обозначены заранее. Кроме того, по мере необходимости могут быть добавлены или удалены конкретные узлы. Таким образом, частный блокчейн не позволит злоумышленникам изменить информацию и при этом будет обеспечена достаточная информационная безопасность. Затраты энергии и время обработки транзакций могут быть уменьшены, поскольку консенсус достигается между назначенными узлами-участниками, а не всеми узлами, как в случае PoW.

СТРУКТУРА СЕТИ НА ОСНОВЕ ЧАСТНОГО БЛОКЧЕЙНА

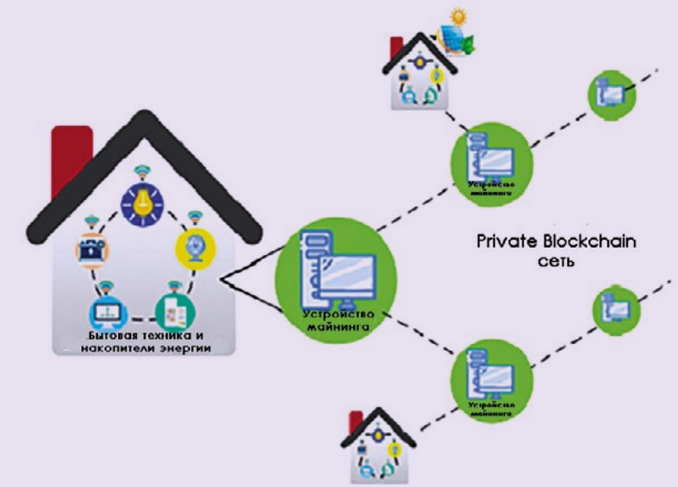

Рис. 3

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ MICROGRID НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙНА

Система «Умный дом» в microgrid на основе технологии блокчейн

Устройства IoT, ESS и устройства майнинга смогут собирать, обрабатывать и обмениваться огромными объемами данных, которые могут быть ис-

ПРОЦЕСС ТОРГОВЛИ ЭНЕРГИЕЙ

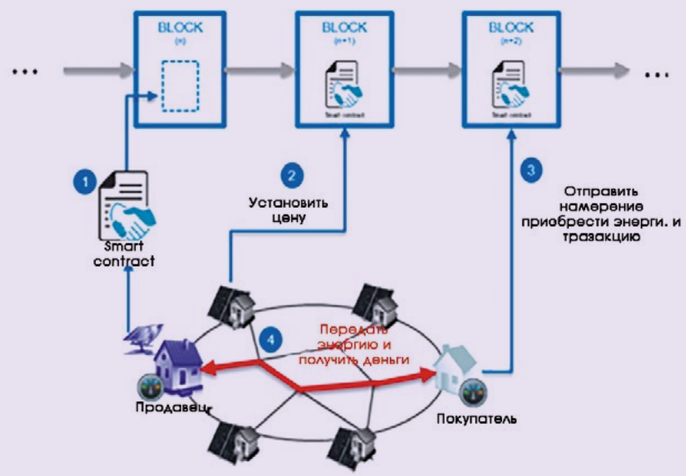

Рис. 4

пользованы для управления, контроля и мониторинга всего, что происходит в доме, обеспечивая при этом дополнительный функционал для пользователя и реализуя различные сценарии управления. На рис. 3 изображена структура microgrid, построенной на основе частного блокчейна.

Каждый узел в сети блокчейн является умным домом, состоящим из устройств IoT, ESS, майнинга, солнечных панелей (для тех, кто планирует продавать энергию в сеть). Устройство майнинга в каждом доме централизованно обрабатывает входящие и исходящие данные, поступающие от устройств умного дома, и реализует торговлю энергией с помощью смарт-контракта.

Смарт-контракт (умный контракт) — это компьютерная программа, которая отслеживает и обеспечивает исполнение обязательств. Стороны прописывают в нем условия сделки и санкции за их невыполнение, ставят цифровые подписи. Смарт-контракт самостоятельно определяет, все ли исполнено, и принимает решение завершить сделку и выдать требуемое (деньги, акции, недвижимость), наложить на участников штраф или пеню, закрыть доступ к активам [12]. Майнер размещается между устройствами и домом и представляет собой информационный шлюз [3]. IoT-устройства подключены через wi-fi и обмениваются данными с устройством майнинга. Данные, сгенерированные в умном доме, называются транзакциями. Они добавляются в блок с помощью следующих параметров: ID устройства, ID владельца дома, типа транзакции. Устройство майнинга в каждом доме собирает транзакции, которые не вошли в предыдущие блоки, и запускает работу алгоритма консенсуса PoW. Когда транзакции будут проверены, блок, состоящий из транзакций, добавляется к блокчейну, и майнер транслирует блок в сеть. Все дома, где расположены устройства майнинга, должны принять блок и провести его проверку. Устройства подтверждают и добавляют блок в блокчейн, только если все транзакции в нем действительны. После того как транзакции включены в блок и блок подтвержден всеми устройствами майнинга, подделать данные блока невозможно. Подобный уровень безопасности достигается за счет работы алгоритма консенсуса. Частная сеть блокчейн сможет обеспечить достаточный уровень информационной безопасности, а также сократить время обработки транзакций.

Энергетический менеджмент

Умный дом на основе блокчейн-технологии может накапливать энергию, полученную от своих ВИЭ с помощью ESS. Потребителям, у которых возникает потребность в энергии, смогут покупать ее у тех, кто располагает достаточным запасом энергии, чтобы обеспечить и свои потребности, и потребности рынка. Каждый сможет установить себе накопитель энергии, солнечную панель и не только обеспечить свои нужды в электрической энергии, но и продавать энергию другим участникам сети. Вышеупомянутое устройство майнинга, установленное в каждом доме, может централизованно обрабатывать данные со всех устройств в доме и ESS и сохранять их в облачных системах или другом доступном хранилище. Используя сохраненные данные, устройство майнинга будет располагать данными о текущем состоянии устройств, истории всех операций, потреблении энергии каждым устройством, отправленной в сеть энергии и количестве энергии в накопителе. Помимо этой информации, можно также обеспечить сбор различных дополнительных параметров. Однако для нашей реализуемой платформы мы будем использовать только данные об использовании энергии каждым устройством и количестве энергии, оставшейся в ESS.

Рынок P2P с использованием смарт-контракта

Процесс торговли энергией в сети будет происходить следующим образом. Устройство майнинга дома контролирует потребление энергии и ее доступные резервы в режиме реального времени. Если устройство определяет, что накопленной энергии недостаточно, т. е. обнаруживает, что оставшаяся энергия ниже указанного значения, оно инициирует покупку энергии у продавцов в сети, используя для этой операции смарт-контракт. Процесс торговли энергией представлен на рис. 4.

Устройства майнинга потребителей и продавцов включены в частную сеть блокчейн:

RASPBERRYPI 4 (МОДЕЛЬ B)

Рис. 5

ХАРАКТЕРИСТИКИ RASPBERRYPI 4 (МОДЕЛЬ B)

Processor:	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
Memory:	1GB, 2GB or 4GB LPDDR4 (depending on model)
Connectivity:	2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet 2 × USB 3.0 ports 2 × USB 2.0 ports.
GPIO:	Standard 40-pin GPIO header (fully backwards-compatible with previous boards)
Video & sound:	2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported) 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI camera port 4-pole stereo audio and composite video port
Multimedia:	H.265 (4Kp60 decode); H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode); OpenGL ES, 3.0 graphics
SD card support:	Micro SD card slot for loading operating system and data storage
Input power:	5V DC via USB-C connector (minimum 3A[1]) 5V DC via GPIO header (minimum 3A[1]) Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Environment:	Operating temperature 0–50°C

Рис. 6

ПРОДАВЕЦ И ПОКУПАТЕЛЬ В ЧАСТНОЙ СЕТИ БЛОКЧЕЙН

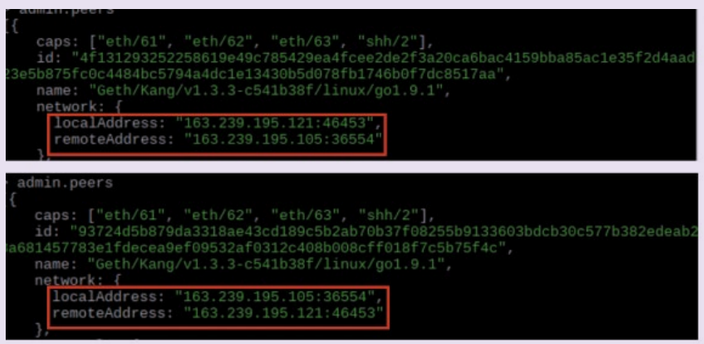

Рис. 7

СОДЕРЖИМОЕ СМАРТ-КОНТРАКТА

```
contract ES{
    uint public tradeprice;
    event trade_event(string message, uint money, uint power);

    function Prosumer_setprice(uint price_of_Prosumer) public{
        tradeprice = price_of_Prosumer;
        trade_event("price of power set", tradeprice, 4000);

    }

    function CONSUMER_buy(uint price_of_CONSUMER) public{
        if (price_of_CONSUMER>=tradeprice){
            trade_event("trade matched", tradeprice, 4000);

        }
        else{
            trade_event("trade not matched", 0, 0);
        }
    }
}
```

Рис. 8

ПРОЦЕСС РЕГИСТРАЦИИ СМАРТ-КОНТРАКТА

```
pi@raspberrypi:~/Desktop/blockchain/smctest $ node contract.js
        ':1:386:                    contract ES{ uint public tradeprice; eve
nt trade_event(string message, uint money, uint power); function DSO_setprice(ui
nt price_of_DSO) public{ tradeprice = price_of_DSO; trade_event("price of power
set", tradeprice, 4000); } function CONSUMER_buy(uint price_of_CONSUMER) public{
 if (price_of_CONSUMER>=tradeprice){ trade_event("trade matched", tradeprice, 40
00); } else{ trade_event("trade not matched", 0, 0); } } }\n
                                                  ^-----------------^\n' ] },
  sourceList: [ '' ],
  sources: { '': { AST: [Object] } } }
0x94a0b26284e911c7bddfc0425cdb03126857100f
  eth.accounts[0]:      0x94a0b26284e911c7bddfc0425cdb03126857100f      balance:
 1765.02868015 ether
  Total balance: 1765.02868015 ether
Smart Contract transaction send!! (Hash Number)
 : 0x65c720d68e7c6a0420d1b94d347beeaab878adc8a8838bb450763cbcdf91e47f
Waiting to be mined...
  eth.accounts[0]:      0x94a0b26284e911c7bddfc0425cdb03126857100f      balance:
 1775.02868015 ether
  Total balance: 1775.02868015 ether

Contract mined!
Contract Address: 0x361c05abb0e78da08c7eba8b49571d2de2df8b58
I1207 13:45:59.844830    2735 state_object.go:184] 94a0b26284e911c7bddfc0425cdb0
3126857100f: #18 1775028680150000000000 (+ 5000000000000000000)
I1207 13:45:59.845791    2735 worker.go:570] commit new work on block 356 with 1
 txs & 0 uncles. Took 10.783882ms
I1207 13:45:59.846106    2735 agent.go:118] (re)started agent[3]. mining...
I1207 13:45:59.846367    2735 agent.go:118] (re)started agent[0]. mining...
I1207 13:45:59.846516    2735 agent.go:118] (re)started agent[2]. mining...
I1207 13:45:59.846646    2735 agent.go:118] (re)started agent[1]. mining...
```

Рис. 9

1) если покупателю необходима покупка энергии, то он должен зарегистрировать смарт-контракт, в котором будут прописаны все условия сделки по продаже энергии. После проверки алгоритмом консенсуса *PoW* смарт-контракт будет включен в блок;

2) потребитель и покупатель устанавливают цену за энергию и формируют транзакцию. Когда *PoW* обработает эти транзакции, цена и все сопутствующие данные будут включены в блок;

3) если устройство майнинга потребителя определяет, что оставшейся энергии недостаточно, оно будет транслировать в сеть намерение о покупке. Начнется процесс соотношения спроса и предложения;

4) если соотношение транзакций прошло успешно, энергия будет передана и транзакция будет завершена. Таким образом, потребитель будет снабжаться энергией, а генератор — получать прибыль.

Исполнение всех вышеуказанных процессов будет обеспечено при помощи платформы *ETH* на основе технологии блокчейн. Платформа реализует все основные принципы технологии блокчейн и, соответственно, сможет обеспечить целостность данных. Использование смарт-контракта на *ETH* для осуществления сделки позволит произвести ее абсолютно автоматизированно без привлечения посредников, при этом обеспечив достаточный уровень доверия [13].

РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАТФОРМЫ P2P

В качестве устройства майнинга на стороне потребителя будет использован микрокомпьютер *RaspberryPi 4* (модель B; рис. 5) [15]. Характеристики микрокомпьютера приведены на рис. 6.

С платой *RaspberryPi 4* будет использовано устройство памяти *SSD* объемом 4 ГБ.

Используя смарт-контракты на основе *ETH*, можно создать энергетическую торговую платформу *P2P* для взаимодействия продавцов и потребителей энергии. Частная сеть блокчейн строится с использованием geth-клиента, который можно получить на платформе *ETH*. Сам же смарт-контракт пишется на языке *Solidity*. В данной статье будут использоваться только два узла — потребитель и продавец, сделка будет осуществляться между ними [14] (рис. 7).

На рис. 7 можно видеть IP-адрес пользователя 163.239.195.12, номер порта 46453, IP-адрес другого пользователя 163.239.195.105 и номер порта 36554. И первый, и второй подключены к частной сети блокчейн.

Продавец запускает файл *contract.js*, закодированный на языке *node.js* для регистрации смарт-контракта. *MyContract* — переменная в файле *contract.js* содержит в себе данные смарт-контракта, закодированного на языке *Solidity* (рис. 8). Условие договора таково, что, когда цена, установленная потребителем, меньше, чем цена, установленная продавцом, транзакция не совпадает. Если цена равна или превышает цену, установленную потребителем, то транзакция совпадает. Переменная *tradeprice* представляет цену, которую установит продавец, а переменная *price_of_CONSUMER* — цену потребителя.

За единицу времени будет продаваться 4000 Вт. После запуска файла *contract.js* можно увидеть, что регистрация смарт-контракта завершена и он включен в блок 356 (рис. 9).

Далее, чтобы установить цену, потребитель запускает файл *customer.js*, а продавец запускает файл *dso.js*. Файл *consumer.js* кодируется с начальной ценой, потом запускается процесс отправки транзакции, затем происходит сопоставление транзакций с предложенными ценами. Файл *dso.js* включает цену, за которую продавец хочет продать энергию, и текущий баланс.

УСТАНОВКА ЦЕНЫ И ТРАНСЛЯЦИЯ В СЕТЬ БЛОКЧЕЙН

```
pi@raspberrypi:~/Desktop/blockchain/smctest $ node consumer.js
event watching...

------------Event------------
Event: price of power set

set price: 500/4000
-----------------------------

pi@raspberrypi:~/Desktop/blockchain/smctest $ node dso.js
event watching...

------------Event------------
Event: price of power set

set price: 500/4000
my total power: 160000
my total money: 32400
-----------------------------

I1207 13:54:32.336502    2735 state_object.go:184] 94a0b26284e911c7bddfc0425cdb0
I1207 13:54:32.337483    2735 worker.go:570] commit new work on block 366 with 1
 txs & 0 uncles. Took 141.324297ms
I1207 13:54:32.337784    2735 agent.go:118] (re)started agent[3]. mining...
I1207 13:54:32.338174    2735 agent.go:118] (re)started agent[1]. mining...
I1207 13:54:32.338483    2735 agent.go:118] (re)started agent[2]. mining...
I1207 13:54:32.338790    2735 agent.go:118] (re)started agent[0]. mining...
I1207 13:54:37.478802    2735 database_util.go:380] stored block total difficult
y [0821b322…]: 51101969
```

Рис. 10

В данном случае начальная цена, за которую потребитель хочет купить энергию, равна 300 долл., цена, за которую продавец хочет продать, составляет 500 долл., количество оставшейся энергии — 160 000 Вт, а текущий остаток на счете — 32 400 долл. После запуска файлов *consumer.js* и *dso.js* можно видеть, что установленная цена транслируется в сеть блокчейн, отображаются количество оставшейся энергии и баланс, транзакция включена в блок 366 (рис. 10).

При запуске файла *trans.js* намерение покупки передается продавцу. Когда устройство майнинга потребителя определит, что количества оставшейся энергии недостаточно, произойдет покупка энергии у продавца. Процесс сопоставления транзакций в данном сценарии можно увидеть на рис. 11.

Первоначальное сопоставление транзакций завершилось неуспешно, так как начальная цена, за которую потребитель хочет купить, составляет 300 долл., а цена, за которую продавец хочет продать, составляет 500 долл. Файл *consumer.js* закодирован так, чтобы цену можно было увеличить на 100 долл., и, если соотношение не реализовалось, цена покупки будет повышена с 300 до 400 долл. автоматически. Так как 400 долл.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРАНЗАКЦИЙ

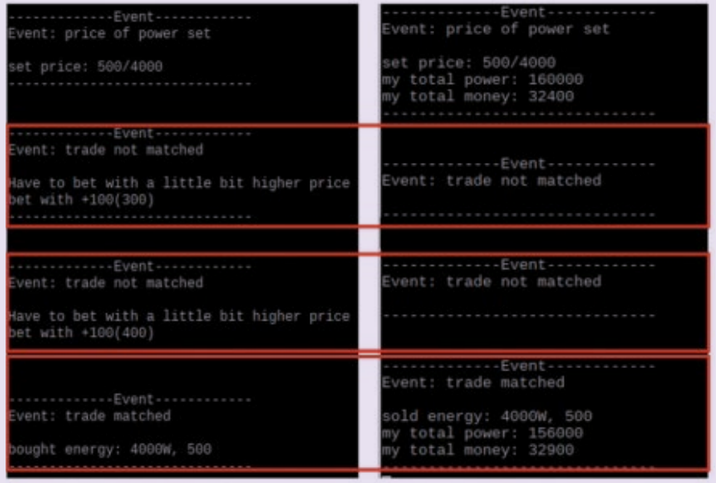

Рис. 11

все еще меньше, чем цена продажи 500 долл., цена покупки будет поднята с 400 до 500 долл. Так как цена 500 долл. равна цене, предложенной продавцом, то сопоставление пройдет успешно и энергетическая сделка будет завершена. После завершения транзакции потребитель получает энергию, а продавец — денежные средства. В результате у продавца количество оставшейся энергии уменьшится с 160 000 до 156 000 Вт, а остаток денежных средств на счете увеличится с 32 400 до 32 900 долл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье описан способ создания сети *P2P* для обеспечения взаимной торговли между домохозяйствами, располагающими ВИЭ и *ESS*. Описан процесс реализации системы на основе микрокомпьютера *RaspberryPi 4* (модель B) с использование смарт-контрактов. Торговая платформа реализована на платформе *ETH*, в основе которой лежит технология блокчейн. Предложенное решение может обеспечить функционирование безопасной и автоматизированной децентрализованной энергетической торговой платформы для *microgrid* с ВИЭ. Описан процесс формирования энергетической торговой платформы. Реализован простой сценарий торговых операций для двух узлов. Операции по купле-продаже энергии выполняются автоматически. Отсутствует возможность фальсификации данных. При таком построении имеется возможность масштабировать сеть, добавляя новые узлы. С запуском этой платформы станет возможным построить децентрализованный рынок энергии *P2P*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возобновляемая энергия и ресурсы/Decentralised energy marketplace. URL: http://renewnews.ru/russia/(дата обращения: 22.01.2020).
2. Вахрушева К. Возобновляемая энергетика меняет баланс сил в мире. URL: https://bellona.ru/2019/08/12/vozobnovlyaemaya-energetika-menyaet-balans-sil-v-mire/(дата обращения: 22.01.2020).
3. Белоус М. Интернет вещей в России: захватывающие дух перспективы. URL: https://www.crn.ru/numbers/reg-numbers/detail.php?ID=140209/(дата обращения: 23.01.2020).
4. Dorri A., et al. Blockchain for IoT Security and Privacy: The Case Study of a Smart Home/A. Dorri, S. Kanhere, R. Jurdak, P. Gauravaram, 2017. DOI: 10.1109/PERCOMW.2017.7917634/
5. Sicari S., et al. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead//Computer Networks. 2015. # 76. P. 146–164. WOS:000348882100010.
6. Ледин С. С. Интеллектуальные сети Smart Grid — будущее российской энергетики. Автоматизация и IT в энергетике//Интеллектуальные сети Smart grid — будущее российской энергетики. 2010. № 16. С. 9.
7. Fang X. et al. Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey//IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2012. # 4 (14). P. 944–980. DOI: 10.1109/SURV.2011.101911.00087.
8. Smart Energy Summit/MicroGrid — будущее электросетей. Кейсы, перспективы, возможности. URL: http://smartenergysummit.ru/novosti/microgrid- %E2 %80 %93-budushhee-elektrosetej.-kejsyi, — perspektivyi, — vozmozhnosti (дата обращения: 24.01.2020).
9. Nakamoto S. Bitcoin A peer-to-peer electronic cash system. URL: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf (date of the application: 26.01.2020).
10. King P. Cryptocurrency with prime number proof-of-work. URL: http://academictorrents.com/details/d0f9accaec8ac9d538fdf9d675105ae1392ea32b (date of the application: 26.01.2020).
11. Crosby M., Nachiappan P., Pattanayak S. Verma Blockchain Technology beyond Bitcoin. Sutardja Center for Entrepreneurship & Technology 2015. URL: http://scet.berkeley.edu/wp-content/uploads/AIR-2016-Blockchain.pdf (date of the application: 26.01.2020).
12. Buterin V. Ethereum White Paper. 2013. URL: https://github.com/ethereum/wiki/wiki/white-paper (date of the application: 24.01.2020).
13. Смарт-контракты: как они работают и зачем нужны. URL: https://pravo.ru/story/205151/(дата обращения: 24.01.2020).
14. Huh S., Cho S., Kim S. Managing IoT devices using blockchain platform. 2017. 464 с. DOI: 10.23919/ICACT.2017.7890132.
15. Raspberry Pi 4 Model B. URL: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2711/rpi_DATA_2711_1p0_preliminary.pdf (date of the application: 24.01.2020).

СОПТ-МТ

Система оперативного постоянного тока, обеспечивающая надежное питание оборудования оперативным током при пульсациях и полной пропаже напряжения в сети электроснабжения

Состав СОПТ-МТ:

- **ШАБ-МТ** - шкаф аккумуляторной батареи
- **ШОТ-МТ** - шкаф оперативного тока с зарядно-выпрямительными устройствами
- **ШРОТ-МТ** - шкаф распределения оперативного тока

Количество и состав шкафов зависят от характеристик применяемых элементов и требований к СОПТ. При небольшой потребляемой мощности установка аккумуляторных батарей в шкаф ШОТ-МТ даст экономию средств и занимаемого пространства.

Преимущества СОПТ-МТ:

- Модульная конструкция, позволяющая обеспечить избыточную схему, которая гарантирует бесперебойную работу всей выпрямительной системы
- Резервирование и «горячая замена модулей» зарядно-выпрямительных устройств
- Большая емкость батарей
- Низкие пульсации и высокая стабильность выходного напряжения и тока, обеспечивающие максимальный срок службы аккумуляторной батареи
- Большой набор коммуникационных интерфейсов и программируемые релейные выходы

ООО «НТЦ «Механотроника» более 30 лет разрабатывает и производит интеллектуальные устройства релейной защиты и автоматики. Развиваясь и совершенствуясь, предприятие наращивает выпуск существующих устройств и решений и создает новые, превосходящие по своим параметрам продукцию мирового уровня.

МЕХАНОТРОНИКА
Интеллектуальные устройства релейной защиты

198206, Санкт-Петербург, ул. Пионерстроя, д. 23, лит. А
Единый телефон тех. поддержки: **8 (800) 250-63-60**
www.mtrele.ru

реклама