

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 622.274.442

DOI: 10.26730/2587-5574-2024-4-84-95

## P2P-РЫНОК КАК СПОСОБ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ МИКРОГЕНЕРАЦИИ

Устюжанина А.С., Паскарь И.Н.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



## Информация о статье

Поступила:

24 октября 2024 г.

Одобрена после рецензирования:

20 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2024 г.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, тариф, оптовый рынок электроэнергии, розничный рынок электроэнергии, ценообразование электроэнергии, p2p-торговля.

## Аннотация.

В статье рассматривается концепция активного потребителя и распределенной генерации в России. Подразумевается, что активный потребитель – часть «Интернета энергии», который может участвовать в программе управления спросом, а также является частным домохозяйством с собственной генерацией и системой накопления электроэнергии. Согласно Постановлению Правительства №299 и ФЗ №35 «Об электроэнергетике» такие частные домохозяйства могут продавать излишки произведенной электроэнергии в сеть на условиях «взаимозачета». Для начала, чтобы начать продавать в сеть, нужно выбрать установку малой генерации до 15 кВт. В статье разработан алгоритм по выбору оптимального способа генерации на основе технико-экономической оценки. В исследовании принимается то, что потребители объединяются в микрогрид и согласно «Интернету энергии» продают электроэнергию в сеть не только, но и между собой на основе смарт-контрактов. Торговля электроэнергией между домохозяйствами происходит на основе p2p – одноранговых транзакций. Выводом является разработанная модель рынка p2p.

*Для цитирования:* Устюжанина А.С., Паскарь И.Н. P2P-рынок как способ взаимодействия объектов микрогенерации // Экономика и управление инновациями. 2024. № 4 (31). С. 84-95. DOI: 10.26730/2587-5574-2024-4-84-95, EDN: SZRJPD

## THE P2P MARKET AS A WAY OF INTERACTION BETWEEN MICROGENERATION FACILITIES

Anastasia S. Ustyuzhanina, Ivan N. Paskar

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



## Article info

Submitted:

24 October 2024

Approved after reviewing:

20 November 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

## Abstract.

The article discusses the concept of an active consumer and distributed generation in Russia. It is assumed that the active consumer is part of the "Internet of Energy", which can participate in the demand management program, and is also a private household with its own generation and energy storage system. According to Government Decree No. 299 and Federal Law No. 35 "On Electric Power Industry", such private households can sell surplus electricity produced to the grid on a "netting" basis. To begin with, in order to start selling to the network, you need to choose a small generation unit up to 15 kW. The article develops an algorithm for choosing the optimal generation method based on a technical and economic assessment. The study assumes that consumers unite in a microgrid and, according to the Internet of Energy, not only sell electricity to the network, but also among themselves on the basis of smart contracts. Electricity trading between households takes place on the basis of p2p peer-to-peer transactions. The conclusion is the developed model of the p2p market.

**Keywords:**

distributed generation, electricity market, tariff, wholesale electricity market, retail electricity market, electricity pricing, p2p-trading.

*For citation:* Anastasia S. Ustyuzhanina, Ivan N. Paskar. Economics and Innovation Management, 2024, no. 4 (31), pp. 84-95. DOI: 10.26730/2587-5574-2024-4-84-95, EDN: SZRJPD

**1 Introduction / Введение**

В настоящее время мировая энергетика переходит на следующий этап развития, который характеризуется увеличением энергопотребления и тарифов на электроэнергию ввиду устаревания производства электроэнергии из традиционных источников энергии. Основным направлением модернизации сферы электроэнергетики является 3D-децентрализация, декарбонизация, диджитализация. Совместно с этим актуальной тенденцией развития является переход к использованию установок малой генерации (так называемая микрогенерация или распределенная генерация) до 25 МВт.

Ввиду этого в последние годы стали появляться новые субъекты рыночных взаимоотношений в энергетике. Активный потребитель – потребитель электроэнергии (ЭЭ), который также является ее производителем, участник розничного рынка электроэнергии и мощности (РРЭМ), может управлять своим энергопотреблением (как участник программы по управлению спросом) [1].

Согласно Постановлению Правительства №299 [2], частные домохозяйства, имеющие на своей территории установки малой генерации мощностью до 15 кВт, могут продавать излишки произведенной ЭЭ в сеть. Для того, чтобы начать отпуск ЭЭ в сеть, необходимо:

1. Проанализировать уровень инсоляции/скорость ветра/скорость реки в населенном пункте, в котором проживает владелец частного домохозяйства. Исходя из полученных данных, выбрать подходящую для себя генерирующую установку: солнечную электростанцию (СЭС), ветряную электростанцию (ВЭС), микро-ГЭС [3, 4].
2. Приобрести генерирующую установку.
3. Установить ее на объекте.
4. Обратиться в электросетевую компанию для оформления технологического присоединения.
5. Установить двусторонний смарт-счетчик.
6. Обратиться в энергосбытовую компанию для заключения договора на покупку электроэнергии.

После выполненного ряда действий собственник объекта микрогенерации сможет выдавать излишки ЭЭ в сеть, получая дополнительный доход.

«Интернет энергии» (IoE) — микроэнергосистема (или микрогрид), участниками которой являются производители и потребители энергии, которые могут обмениваться энергией между собой. Взаимодействие участников в IoE происходит за счет энергетических транзакций – взаимодействия субъектов микроэнергосистемы (или микрогрида), который состоит из трех слоев энергоинформационного обмена: финансово-договорного, информационно-управляющего и физического (электрического). Участниками транзакций являются энергетические ячейки – совокупность энергетических устройств (генераторы, накопители и т. д.), которая входит в состав распределительных электрических сетей, имеет единый принцип подключения к Интернету энергии и является единым субъектом в процессе энергетических транзакций с другими ячейками и устройствами Интернета энергии.

В энергосистеме самым важным параметром является равенство производства и потребления ЭЭ. Поэтому необходимы маневренные источники энергии, которые смогут увеличивать и сбрасывать нагрузку с большой скоростью. Обычно такую гибкость в энергосистеме обеспечивают тепловые и гидроэлектростанции. Однако сейчас благодаря развитию технологий гибкость можно обеспечить не только со стороны производства, но и со стороны потребления.

Один из таких новых источников гибкости в энергосистемах – управление спросом (Demand response), механизм изменения энергопотребления, когда потребители, которые согласились на

эту программу, снижают свое потребление ЭЭ из сети на время за определенную плату. Управление спросом может снижать цены на электроэнергию на оптовом рынке, что, в свою очередь, приводит к снижению цен на розничном [5].

Агрегаторы управления спросом – организации, которые приобретают услуги розничных потребителей (в качестве услуг – их способность изменять потребление) и конвертируют их в товары и услуги на рынках ЭЭ, мощности и системных услуг, а также транслируют часть полученного на оптовом рынке эффекта потребителям (как снижение тарифа) [3].

**2 Materials and methods / Материалы и методы**

Для того, чтобы выбрать оптимальную установку генерации на основе ВИЭ, необходимо провести алгоритм технико-экономической оценки (Рис. 1):

1. Ввод данных о потребителе:

- паспорт потребителя. Ввод данных о количестве электроприемников (ЭП), потреблении электроэнергии с разделением будние/выходные, а также площади участка, выделенного под генерирующую установку;
- данные о геопозиции объекта. Ввод координат потребителя, которые будут использоваться для формирования запроса из внешних сервисов;
- данные для расчетов. Формируются запросы по метеорологическим параметрам: инсоляция, среднегодовая скорость ветра, средняя скорость и глубина реки с разделением по временам года;
- моделирование графика нагрузки. Осуществляется моделирование графика нагрузки потребителя по дням недели и временам года.

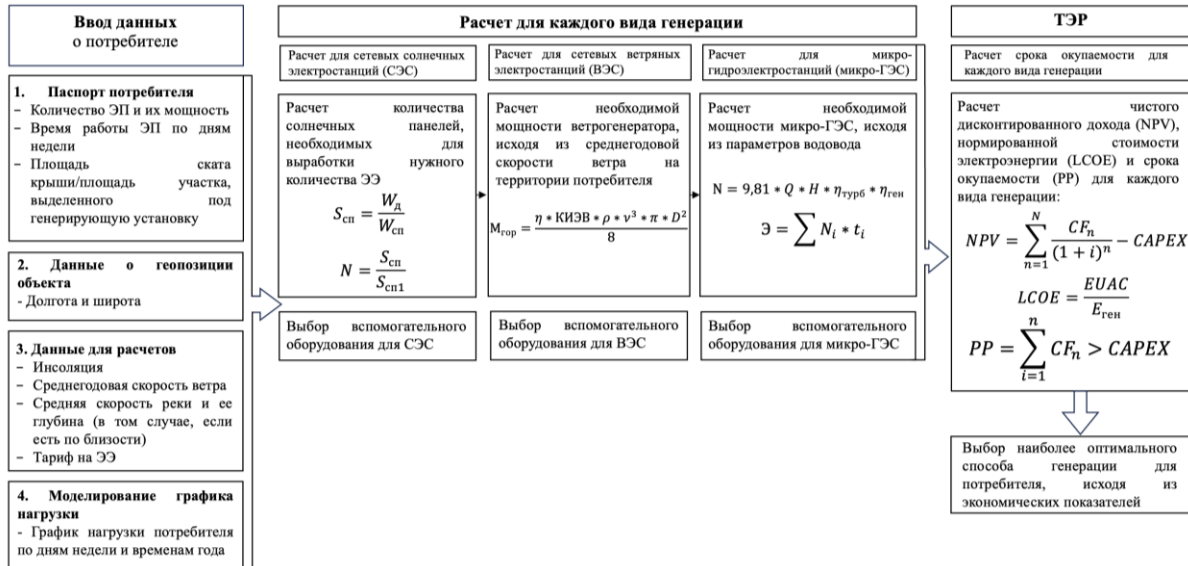


Рис. 1. Алгоритм технико-экономической оценки внедрения генерации на основе ВИЭ для потребителя

Fig. 1. Algorithm for technical and economic assessment of the introduction of renewable energy generation for the consumer

2. Расчет для каждого вида генерации:

- расчет для солнечных электростанций (СЭС). Считается площадь солнечных панелей, необходимая для выработки нужного количества ЭЭ, находится количество солнечных модулей и минимальная мощность СЭС для снабжения необходимым количеством ЭЭ. При этом учитывается площадь участка для установки объекта и площадь СЭС для того, чтобы не превысить выделенную площадку.

Выбирается сетевая СЭС, так как планируется выдавать в сеть ЭЭ, которая была не использована. Также подбирается вспомогательное оборудование для станции, исходя из ее мощности. К вспомогательному оборудованию относятся двунаправленный счетчик ЭЭ, сетевой инвертор, регистратор данных (для подключения инвертора к сети интернет и получения информации об эксплуатации системы), аккумуляторные батареи, балансир заряда аккумуляторов, коннектор,

предохранитель, держатель предохранителя, кабель солнечный, перемычка для аккумулятора, УЗИП постоянного тока, автомат защиты постоянного тока.

Моделируется ситуация, при которой в сеть выдано либо больше потребленного значения, либо меньше, в зависимости от мощности выбранной станции и потребления пользователя [6]. Исходя из этого, меняется тариф, по которому потребитель продает ЭЭ в сеть. Если выдано больше, чем потреблено, то продажа в сеть происходит по оптовому тарифу, если же наоборот – по розничному. Стоит отметить, что доход в алгоритме выбора наиболее оптимального решения должен считаться не только как продажа в сеть, но и как продажа ЭЭ потребителями между собой по внутрисетевому тарифу.

Далее рассчитываются чистый дисконтированный доход, нормированная стоимость электроэнергии и срок окупаемости по формулам (1-5).

После проведения всех операций выбирается самый оптимальный вариант СЭС по минимальному значению LCOE и PP.

- расчет для ветряных электростанций (ВЭС). Рассчитывается мощность ветрогенератора для потребителя, исходя из скорости ветра на территории потребителя для вертикально-осевого и горизонтально-осевого генератора.

Исходя из двух значений полученной мощности выбирается наибольшее, по нему – сетевая ВЭС. Если площадь выбранной установки меньше или равна площади участка, на котором будет располагаться ВЭС, то далее происходит выбор вспомогательного оборудования. Вспомогательное оборудование к ВЭС: двунаправленный счетчик ЭЭ, аккумуляторные батареи, выпрямитель, каркас, крепление, кабель, балластное сопротивление, GSM система удаленного контроля и управления ВЭС, предохранитель, держатель предохранителя, УЗИП постоянного тока, автомат защиты постоянного тока.

Остальные расчеты проводятся аналогично СЭС (1-5).

После проведения всех операций выбирается самый оптимальный вариант ВЭС по минимальному значению LCOE и PP.

- расчет для микро-гидроэлектростанций (микро-ГЭС). Производится расчет мощности микро-ГЭС, исходя из параметров водотока. Далее – расчет количества ЭЭ, произведенной микро-ГЭС полученной мощности.

Исходя из мощности установки, к ней подбирается вспомогательное оборудование: регулятор (оборудован системой индикации режимов работы и защиты микро-ГЭС и потребителя от аварийных ситуаций), водозаборник, трубопровод, двунаправленный счетчик ЭЭ, аккумуляторные батареи, инвертор.

Остальные расчеты проводятся аналогично.

После проведения всех операций выбирается самый оптимальный вариант микро-ГЭС по минимальному значению LCOE и PP.

Расчет срока окупаемости для каждого вида генерации. Для оценки энергоэффективности рассматриваемой солнечной электростанции для снабжения потребителя выполняется расчет чистого дисконтированного дохода (NPV), нормированной стоимости электроэнергии (LCOE) и срока окупаемости (PP):

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CF_n}{(1+i)^n} - CAPEX, \quad (1)$$

где: NPV – чистый дисконтированный доход;  $CF_n$  – денежный поток за n-ый год (за срок службы установок: СЭС ~ 20 лет, ВЭС ~ 25 лет, микро-ГЭС ~ 20 лет);

CAPEX – вложенный инвестиционный капитал, который складывается из покупки всего оборудования, суммы технологического присоединения; N – продолжительность проекта, лет (за срок службы установок: СЭС ~ 20 лет, ВЭС ~ 20 лет, микро-ГЭС ~ 20 лет);

i – ставка дисконтирования, принятая на уровне 7,5%, исходя из уровня риска подобных проектов (2,9%) и уровня инфляции на 2024 год (4-4,5%).

В части доходов учитывается получаемая экономия за счет снижения объемов электроэнергии, покупаемой из сети и прибыль от продажи ЭЭ в сеть. Для оценки рентабельности генерации на ВИЭ выполняется расчет приведенной стоимости электроэнергии, представляющей собой стоимость производства одного киловатта в час электроэнергии в течение всего жизненного цикла установки:

$$LCOE = \frac{EUAC}{E_{ген}}, \quad (2)$$

где:  $EUAC$  – эквивалентная годовая стоимость с учетом дисконтирования, млн руб./г;  $E_{ген}$  – генерация электроэнергии за год, ГВт\*ч.

Эквивалентная годовая стоимость с учетом дисконтирования определяется по формуле:

$$EUAC = NPC \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}, \quad (3)$$

где:  $NPC$  – чистая приведенная стоимость, млн руб.

$$NPC = \sum_{n=1}^N \frac{OPEX_n}{(1+i)^n} + CAPEX, \quad (4)$$

где  $OPEX_n$  – операционные затраты в n-ый год, млн руб., складываются из регулярного технического обслуживания (в том числе замена аккумуляторных батарей, инвертора, предохранителей и другого оборудования без учета генерирующего).

Срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$PP = \sum_{i=1}^n CF_n > CAPEX \quad (5)$$

Так определяется момент времени, когда доход от вложений окажется равным затратам.

Исходя из полученных данных, рассматриваются три наиболее выгодных способа генерации электроэнергии. В итоге выбирается вариант с наименьшим сроком окупаемости. И так для каждого потребителя.

С учетом развития цифровизации в области электроэнергетики это также коснется оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) и розничного рынка электроэнергии и мощности (РРЭМ). «Интернет энергии» в данном случае позволяет построить связную систему микро-грида, в которой активные потребители будут взаимодействовать между собой.

На данный момент модель функционирования рынка ЭЭ (Рис. 2) представляет собой двух-уровневую систему: 1 уровень – ОРЭМ, 2 уровень – РРЭМ.

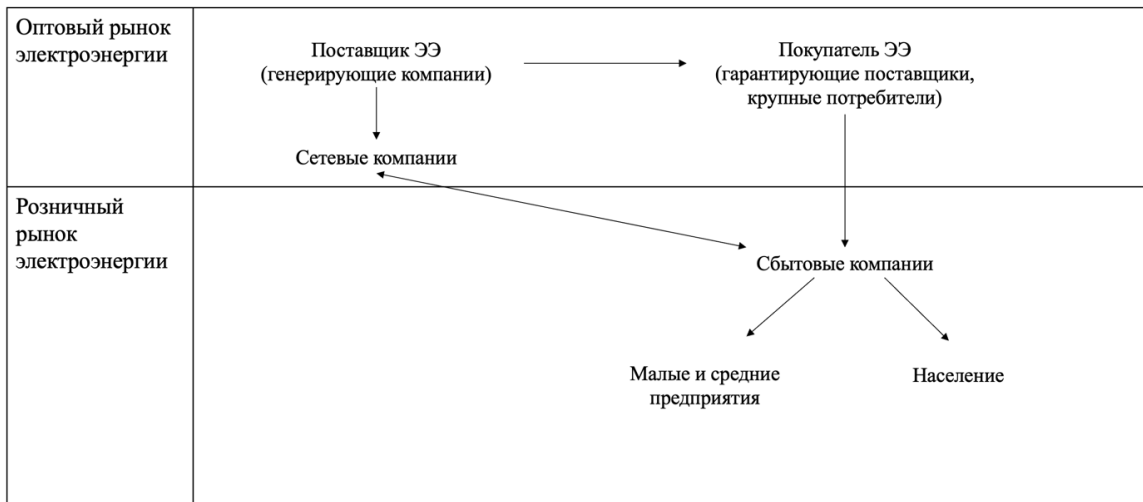


Рис. 2. Модель функционирования рынка ЭЭ в России  
 Fig. 2. Model of functioning of the energy market in Russia

ОРЭМ – сфера, в которой происходит оборот электрической энергии и мощности в рамках ЕЭС РФ с учетом границ единого экономического пространства России при участии крупных производителей и потребителей электроэнергии и мощности [7].

На ОРЭМ поставщики ЭЭ продают потребителям два товара – электроэнергию и мощность. На оптовом рынке согласно Постановлению Правительства РФ от 27.12.2010 №1172 «Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности» установлены некоторые требования для участников ОРЭМ [8]:

А) Установленная генерируемая мощность производителей должна быть более 25 МВт, которая в каждой группе точек поставки (ГТП) должна составлять не менее 5 МВт.

Б) У потребителей должна быть суммарная присоединенная мощность, равная или больше 20 МАВ и в каждой ГТП не менее 750 кВА.

Оптовый рынок разделен на две «ценовые зоны», где первая – территория Европейской части страны и Урал, вторая – Сибирь. Другие регионы (Дальний Восток, Калининградская и Архангельская области, Республика Коми) относятся к «неценовым зонам». В них нет возможности организовать функционирование конкурентного рынка.

Тарифы на электрическую энергию на ОРЭМ варьируются в зависимости от района. К производителям электрической энергии на розничном рынке также есть некоторые ограничения по мощности:

1. Их установленная генерирующая мощность должна быть менее 25 МВт;
2. Или же их установленная мощность равна либо превышает 25 МВт, на него не распространяется требование законодательства Российской Федерации об электроэнергетике о реализации производимой ЭЭ (мощности) только на оптовом рынке.

На РРЭМ имеется возможность покупки ЭЭ по разным тарифам: двуставочный и одноставочный. Двуставочный характеризуется разными тарифами на электроэнергию и мощность, одноставочный – единый тариф на ЭЭ с учетом стоимости мощности [7, 9].

На изолированных территориях же рынок работает несколько иначе. Здесь действуют три самостоятельных рынка ЭЭ:

- свободные двусторонние договоры (СДД) – между поставщиком и покупателем ЭЭ.
- рынок на сутки вперед (РСВ) – аукцион, на котором сводятся заявки на покупку и продажу ЭЭ на следующие сутки с целью создания планового производства и потребления электроэнергии. Цена РСВ определяется по максимальной заявке на продажу электроэнергии.
- балансирующий рынок (БР) – работы в реальном времени для ликвидации отклонений от планового производства и потребления ЭЭ. Объемы и цены поставки определяются в результате отбора заявок поставщиков Системным оператором (АО «СО ЕЭС»). РСВ и БР необходимы для того, чтобы более точно прогнозировать потребление и производство ЭЭ, чего не получится добиться в рамках СДД. В «неценовых зонах» организация конкурентного рынка невозможна из-за различных причин, поэтому покупка ЭЭ на ОРЭМ происходит по ценам, которые регулируются государством. Как следствие, регулируется цена поставки конечному потребителю.

Такой вариант работы системы подходит для электростанций, установленная генерируемая мощностью которых 5 МВт и выше, напряжением 10 кВ и выше.



Рис. 3 Модель оптового и розничного рынков электроэнергии  
 Fig. 3 Model of wholesale and retail electricity markets

Однако, как отмечалось выше, в существующей системе электроснабжения существует проблема с поставками ЭЭ потребителям, находящимся в изолированных районах, не имеющих ЛЭП. Для населения это высокая стоимость доставки топлива (дизельное топливо), из-за сезонных ограничений на его доставку производство электроэнергии в отдаленных районах характеризуется высокой себестоимостью и низкой энергоэффективностью.

Так, население изолированных районов вынуждено платить за ЭЭ больше. В связи с этим фактором предлагается развивать децентрализованное электроснабжение отдаленных районов на основе альтернативных источников энергии [7].

На оптовом рынке электроэнергии и мощности (Рис. 3) взаимодействуют крупные производители и потребители ЭЭ (35–750 кВ) – генерация и промышленные потребители, которые связаны магистральными сетями. В свою очередь, через магистральные сети к трансформаторным подстанциям (35/10/0,4 кВ) передается электроэнергия населению и малым предприятиям – уровень розничного рынка электроэнергии (РРЭЭ). В отдельную группу входят домохозяйства с собственной генерацией (РГ) и системами накопления электроэнергии (СНЭЭ), а также малые и средние предприятия, которые сами вырабатывают ЭЭ (РГ) и СНЭЭ.

С учетом внедрения технологий «Интернета энергии» их работа изменится. Теперь взаимодействие субъектов микрогенерации на розничном рынке может происходить на основе P2P [1, 10].

P2P – peer to peer, иначе говоря, одноранговая энергетическая транзакция между двумя энергетическими ячейками, предполагает согласованное и синхронизированное во времени изменение параметров генерации и потребления мощности этими ячейками [10]. Торговля с помощью P2P подразумевает технологию заключения договоров купли-продажи (заключение смарт-контрактов) без посредников (энергосбытовых компаний и т. д.) между двумя домохозяйствами – пользователями микрогрида. При этом тариф, по которому происходит купля-продажа ЭЭ, выражен во внутренней валюте – криптовалюте, назовем ее «е-коины». С помощью встроенной системы управления будет производиться конвертирование рублей в е-коины в соотношении 1 к 1.

Все транзакции по получению и оплате ЭЭ будут происходить на основе смарт-контрактов, поэтому они будут выполняться непосредственно в сети. Благодаря этому внутрисетевой тариф на ЭЭ будет значительно меньше, чем розничный тариф. Кроме того, все сделки будут открытыми. Люди не смогут просрочить платеж за потребление энергии — смарт-контракт будет контролировать исполнение всех транзакций. Система произведет оплату сама, то есть спишет столько е-коинов, сколько потребуется за совершение сделки по передаче энергии.

Модели транзакций на блокчейне основаны на том, что вся электроэнергия, поставляемая в электросети, может быть четко отнесена на счета конкретных потребителей в кратчайший промежуток времени. Электричество будет поступать к конечному потребителю непосредственно от ближайшего производителя (активного потребителя) электроэнергии.

База данных микрогрида позволит точно настроить операции в сети как на уровне распределения, так и на уровне передачи электроэнергии. Двухнаправленные счетчики, в свою очередь, будут фиксировать объемы переданной и принятой ЭЭ – все значения будут сохраняться в базу данных микрогрида. Потребители получают расширенные возможности контроля в отношении своих договоров на электроснабжение, а также данных о потреблении электроэнергии.

База данных, в свою очередь, будет находиться под контролем диспетчера микрогрида, который также будет обслуживать оборудование, находящееся в работе. Все затраты на обслуживание системы и оборудования диспетчеру будут компенсироваться за счет агрегирования нагрузки микрогридом или некоторым процентом от дохода потребителей за продажу ЭЭ в сеть. Однако стоит понимать, что, если диспетчер будет получать компенсацию от потребителей, это будет увеличивать внутрисетевой тариф на ЭЭ и снижать срок окупаемости установок (из-за снижения дохода пользователей).

Благодаря блокчейну все потоки электроэнергии обеспечатся защитой от постороннего вмешательства. Это позволит сертифицировать электричество, проверять квоты на допустимые выбросы, количество которых регулируется Ф3 от 26.07.2019 №195-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха».

Все записи будут храниться в открытом доступе в блокчейн-реестре, который отрегулирует все вопросы прав собственности и текущее состояние активов – умных интернет-вещей.

### **3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение**

Рассмотрим подробнее взаимодействие пользователей (Рис. 4).

В сети микрогрида – энергетической ячейке – несколько бытовых потребителей, у которых на территории их домов установлены объекты малой генерации (СЭС, ВЭС или микро-ГЭС) в комбинации с аккумуляторными батареями (СНЭЭ) и двухнаправленными счетчиками для того, чтобы обеспечивать себя электрической энергией.



Автоматизированная система управления (АСУ) – объединение на технологическом уровне сетей и активных потребителей в единую систему, которая позволяет фиксировать параметры каждого пользователя (сколько произведены ЭЭ, сколько потреблено из сети, сколько выдано в сеть и т. д.), а также управлять режимом работы микрогрида.

После введения в работу системы в АСУ начинается непрерывный расчет и запись баланса активной мощности в энергосистеме. В случае соблюдения баланса мощности или незначительном превышении генерируемой над потребляемой мощностью 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.

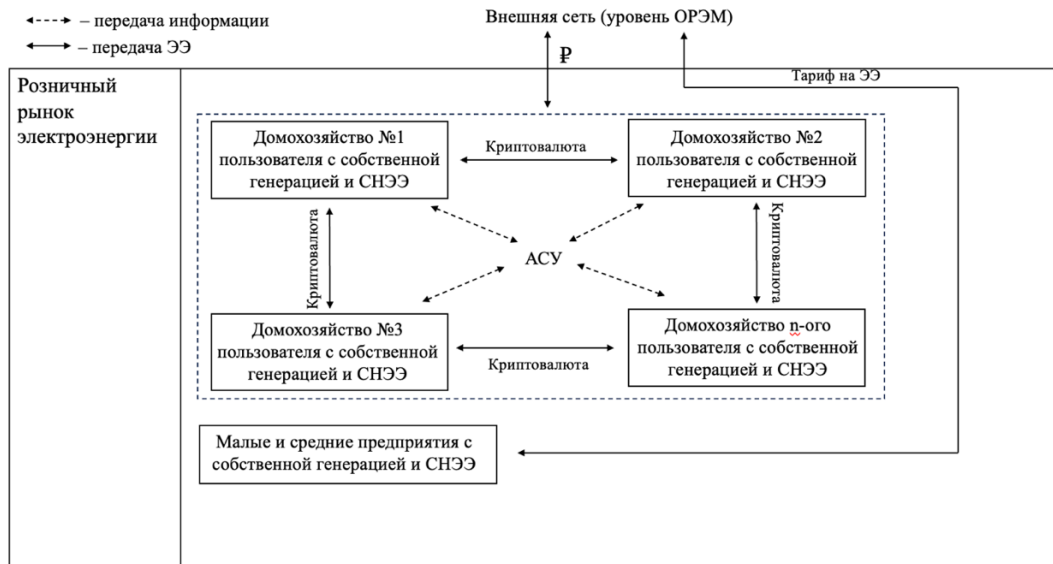


Рис. 4. Работа энергетической ячейки внутри розничного рынка электроэнергии в комбинированном режиме работы

Fig. 4. Operation of an energy cell within the retail electricity market in a combined operating mode

Если в доме n-го пользователя сети имеется избыток по генерируемой активной мощности, то он выдает ее в общую сеть, иными словами, продает энергосбытовой компании, к которой сам и подключен. При этом двунаправленный счетчик ЭЭ ведет запись выданной в сеть ЭЭ, сохраняя эти данные в АСУ. Эта энергия продается в сеть по тарифу оптовому или розничному (в зависимости от количества выданной электрической энергии в сеть), тем самым пополняя соответствующий баланс пользователя. Домохозяйства также могут накапливать профицитную мощность с помощью систем накопления электроэнергии, тогда появляется возможность продажи ЭЭ другим домохозяйствам, которым ее не хватает.

Микрогрид также может получать дополнительный доход, помимо продажи ЭЭ в сеть и между собой, участвуя в программе управления спросом. Рассмотрим, как это можно реализовать.

Агрегатор спроса заключает с потребителями розничного рынка договоры оказания услуг по изменению нагрузки их оборудования. При возникновении соответствующих экономических условий агрегатор получает от инфраструктурных организаций оптового рынка сигнал на снижение нагрузки в определенном объеме, распределяет этот объем между участвующими потребителями и выдает им сигнал на изменение нагрузки. Нагрузка потребителя изменяется на заданную величину на протяжении заданного интервала времени. Агрегатор получает на рынке электроэнергии и мощности (или системных услуг) оплату за снижение потребления электроэнергии или увеличение генерации. Потребитель получает оплату услуг по снижению потребления от агрегатора в соответствии с заключаемым между ними договором оказания услуг.

Агрегатором управления спросом на ЭЭ может стать субъект электроэнергетики, в том числе энергосбытовая компания (гарантирующий поставщик) или потребитель электрической энергии, заключивший договор оказания услуг по изменению нагрузки с потребителями розничного рынка электрической энергии. Чтобы стать агрегатором, такой субъект или потребитель



должен пройти процедуру конкурентного отбора и заключить договор оказания услуг по управлению спросом на электрическую энергию с АО «СО ЕЭС» в соответствии с правилами отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2024 года №461.

Обязательства перед Системным оператором при оказании услуг по обеспечению системной надежности имеет исключительно агрегатор управления спросом (не потребитель), потребитель несет ответственность за разгрузку перед агрегатором в соответствии с условиями договора оказания услуг, заключенного между ними (Рис. 5) [10].

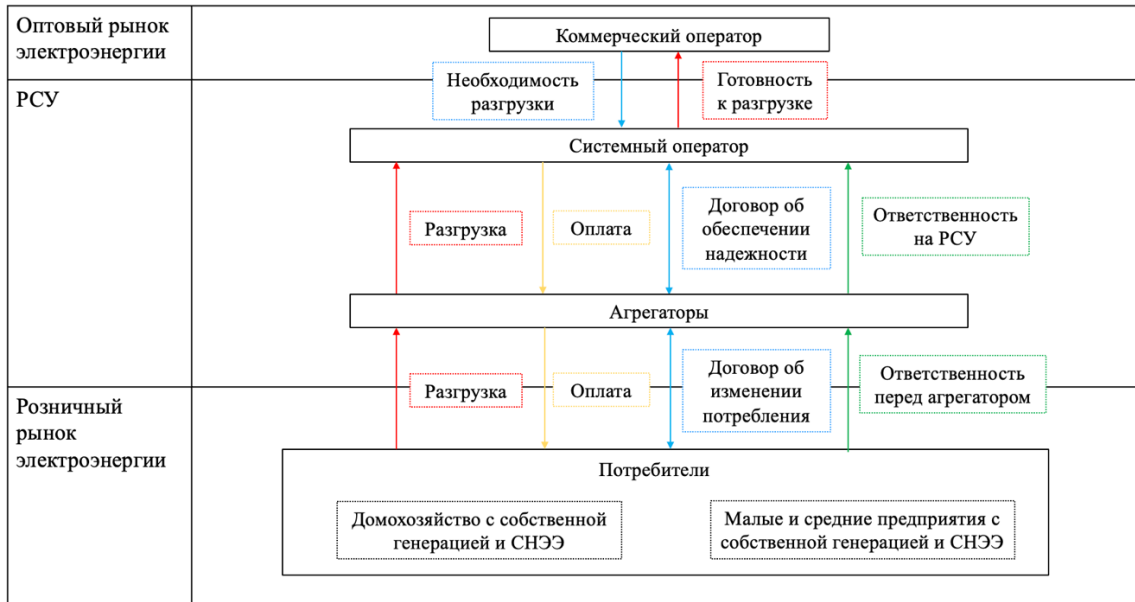
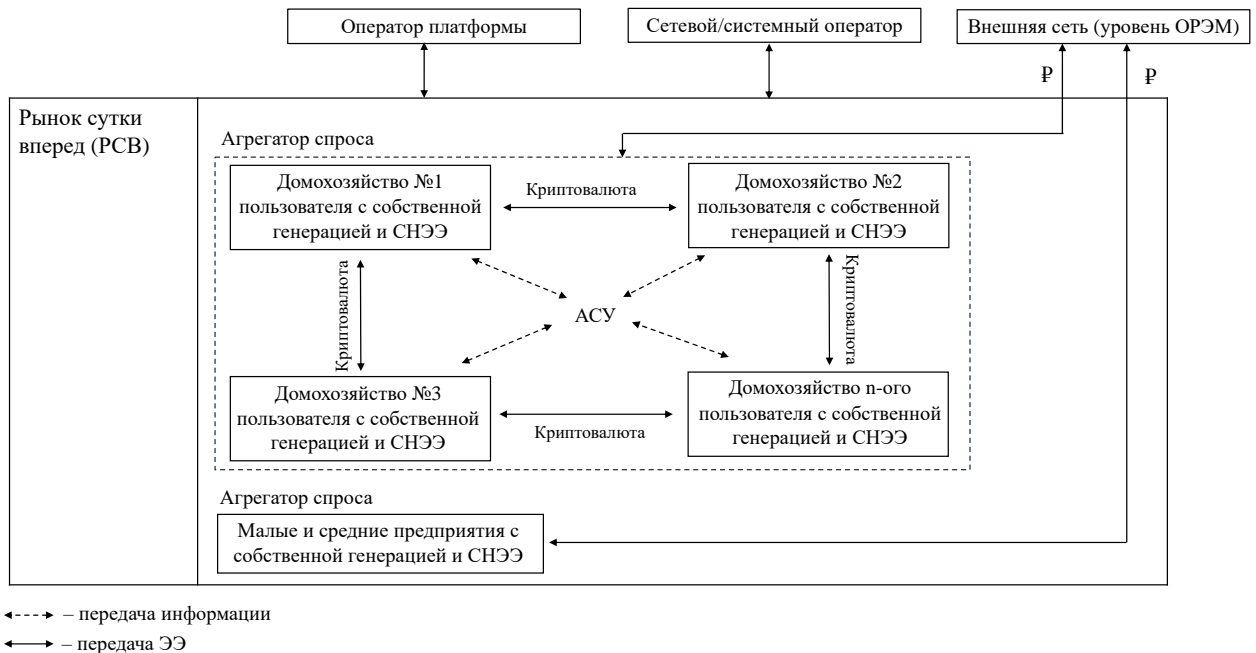


Рис. 5. Модель взаимодействия субъектов  
Fig. 5. Model of interaction of subjects



←---→ – передача информации  
←→ – передача ЭЭ

Рис. 6 Работа энергетической ячейки внутри рынка на сутки вперед в комбинированном режиме работы с автоматическим регулированием спроса  
Fig. 6. Operation of the energy cell within the day-ahead market in a combined mode of operation with automatic demand regulation

Благодаря агрегатору нагрузки розничный потребитель (в представленном случае – активный потребитель) получает возможность влиять на баланс спроса и предложения на оптовом рынке, не становясь при этом субъектом ОРЭМ, не разбираясь в его правилах, не осуществляя сложно регламентированного оперативного взаимодействия с коммерческим и системным операторами. Другими словами, агрегатор преобразует способность потребителя изменять потребление в требуемый момент времени в товары и услуги на рынках электроэнергии, мощности и системных услуг (РСУ).

Участие агрегаторов на РСВ возможно также предусмотреть в роли потребителей. Например, вышеописанная система – микрогрид, включающая несколько домохозяйств (Рис. 6). Однако такая модель потребует более глубокого пересмотра правил функционирования рынка. Согласно результатам модельных расчетов АО «АТС» и АО «СО ЕЭС», снижение цены на РСВ при снижении спроса на 50 МВт обеспечивает годовой эффект в 390 млн рублей. Если упрощенно принять, что снижение цены при снижении спроса происходит пропорционально (и допустимо использовать линейное приближение), то годовой эффект от управления спросом в размере 4–6 ГВт на РСВ можно оценить в зависимости от агрегированной мощности потребителей в 31–48 млрд руб. [11]

При снижении потребления ЭЭ в месяц на 1 МВт микрогриду, который выступает агрегатором спроса, выплачивается 15000 руб. [6] без учета налога на добавленную стоимость. Эта сумма будет уходить на обслуживание системы (АСУ, базы данных микрогрида). В этом случае формулы для экономических расчетов остаются те же, только для значения затрат не учитывается обслуживание системы, так как ее стоимость будет покрываться доходами от агрегаторства.

#### 4 Conclusion / Заключение

Таким образом, получен алгоритм технико-экономической оценки видов генерации для активного потребителя. Такой алгоритм предполагает выбор наиболее оптимального способа производства электроэнергии, исходя из параметров расчетов и погодных условий пользователя.

Также разработана модель работы рынка на основе р2р-торговли электроэнергией. Данная модель подразумевает внедрение технологий «Интернета энергии». У такого принципа взаимодействия энергетических ячеек главное существенное отличие от настоящей – распределенная архитектура.

Следовательно, такое решение позволит развивать концепцию активного потребителя и распределенной генерации в России.

#### Список источников

1. Устюжанина А. С. Предпосылки внедрения активных потребителей в энергосистему России / Материалы Всероссийской (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ», КузГТУ 2022 г. – Кемерово: КузГТУ, 2022. – С.412.
2. Постановление Правительства РФ от 2.03.2021 г. №229 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации».
3. Федеральный Закон «О внесении изменения в статью 23.2 Федерального Закона «Об электроэнергетике» от 16.02.2022 №12-ФЗ.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2022 г. №1178 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрическим сетям и признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации".
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.04.2024 г. № 461 «О внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации для определения основных положений, регулирующих оказание на оптовом рынке электрической энергии и мощности услуг по управлению изменением режима потребления»
6. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 11.12.2023 г. № 964/23 «Об утверждении цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность), поставляемую в ценовых зонах оптового рынка субъектами оптового рынка - производителями электрической энергии (мощности) по договорам, заключенным в соответствии с законодательством Российской Федерации с гарантирующими поставщиками (энергоснабжающими организациями, энергосбытовыми организациями, к числу покупателей электрической энергии (мощности) которых относятся население и (или) приравненные к нему категории потребителей), в целях обеспечения потребления электрической энергии населением и (или) приравненными к нему категориями.
7. Устюжанина А. С., Паскарь И. Н. Тарифообразование на рынке электроэнергии распределенной генерации в России // Экономика и управление инновациями. – 2022. – № 1 (20). – С. 65-74.

8. НП «Совет рынка». Оптовый рынок электроэнергии. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (последнее обращение: 21.09.2024).

9. НП «Совет рынка». Розничный рынок электроэнергии. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/retail/ceno> (последнее обращение: 21.09.2024).

10. Инфраструктурный центр «Энерджинет». Архитектура Интернета энергии (IDEA). URL: <https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-ru.pdf> (последнее обращение: 21.09.2024).

11. Инфраструктурный центр EnergyNet Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности. URL: <https://img-cdn.tinkoffjournal.ru/-/upravlenie-sprosom-v-elektroenergetike-rossii-otkryvaiushchiesia-vozmozhnosti.pdf> (последнее обращение: 21.09.2024).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

### Авторы

*Устюжанина Анастасия Сергеевна* – студент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

650000 г. Кемерово, ул Весенняя, 28

E-mail: [au.ustyuzhanina@mail.ru](mailto:au.ustyuzhanina@mail.ru)

*Паскарь Иван Николаевич* – старший преподаватель кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

650000 г. Кемерово, ул Весенняя, 28

E-mail: [paskar-ivan@mail.ru](mailto:paskar-ivan@mail.ru)

### References

1. Ustyuzhanina A.S. Predposylki vnedrenija aktivnyh potrebitelej v jenergosistemu Rossii / Materialy Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) molodezhnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «JeNERGOSTART», KuzGTU 2022 g. [Prerequisites for the introduction of active consumers into the energy system of Russia / Proceedings of the All-Russian (with international participation) youth scientific and practical conference "ENERGOSTART", KuzSTU 2022]. Kemerovo: KuzGTU, 2022. pp. 412.

2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 2.03.2021 g. №229 «O vnesenii izmenenij v ne-kotorye акты Pravitel'stva Rossijskoj Federacii v chasti opredelenija osobennostej pra-vovogo regulirovanija otnoshenij po funkcionirovaniju ob#ektov mikrogeneracii» [Resolution of the Government of the Russian Federation of 03/02/2021 No. 229 "On Amendments to Certain Acts of the Government of the Russian Federation in Terms of Defining the Features of Legal Regulation of Relations on the Operation of Microgeneration Facilities"].

3. Federal'nyj Zakon «O vnesenii izmenenija v stat'ju 23.2 Federal'nogo Zakona «Ob jelektrojenergetike» ot 16.02.2022 №12-FZ [Federal Law "On Amendments to Article 23.2 of the Federal Law "On Electric Power Industry" dated 02/16/2022 No. 12-FZ].

4. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30.06.2022 g. №1178 "O vne-senii izmenenij v nekotorye акты Pravitel'stva Rossijskoj Federacii po voprosam teh-nologicheskogo prisoedinenija jenergoprini-majushhijh ustrojstv potrebitelej jelektricheskoi jenerгии k jelektricheskim setjam i priznanii utrativshimi silu otdel'nyh polo-zhenij neko-toryh aktov Pravitel'stva Rossijskoj Federacii" [Resolution of the Government of the Russian Federation of June 30, 2022 No. 1178 "On Amending Certain Acts of the Government of the Russian Federation on Issues of Technological Connection of Power Receiving Devices of Electricity Consumers to Electrical Networks and Recognizing Certain Provisions of Certain Acts of the Government of the Russian Federation as Invalid"].

5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12.04.2024 g. № 461 «O vne-senii izmenenij v nekotorye акты pravitel'stva rossijskoj federacii dlja opredelenija osnovnyh polo-zhenij, regulirujushhijh okazanie na optovom rynke jelektricheskoi jenerгии i moshhnosti uslug po upravleniju izmeneniem rezhima potreblenija» [Resolution of the Government of the Russian Federation of 12.04.2024 No. 461 "On Amending Certain Acts of the Government of the Russian Federation to Determine the Basic Provisions Governing the Provision of Services for Managing Changes in the Consumption Regime on the Wholesale Electricity and Capacity Market"].

6. Prikaz Federal'noj antimonopol'noj sluzhby ot 11.12.2023 g. № 964/23 «Ob utver-zhdenii cen (tarifov) na jelektricheskiju jenerгiju (moshhnost'), postavljajemuju v cenovyh zonah optovogo rynka sub#ektami optovogo rynka – proizvoditeljami jelektricheskoi jenerгии (moshh-nosti) po dogovoram, zakljuchennym v sootvetstvii s zakonodatel'stvom Rossijskoj Federacii s garantirujushhimi postavshhikami (jenergosnabzhajushhimi organizacijami, jenergosbytovymi organizacijami, k chislu

покупателей электрической энергии (мощности) которых отно-сится население и (или) приравненные к нему категории потреби-лей), в целях обеспечения потребности электрической энергии населением и (или) приравненными к нему категориями [Order of the Federal Antimonopoly Service of 11.12.2023 No. 964/23 "On Approval of Prices (Tariffs) for Electricity (Capacity) Supplied in Wholesale Market Price Zones by Wholesale Market Entities - Electricity (Capacity) Producers Under Agreements Con-cluded in Accordance with the Legislation of the Russian Federation with Guarantoring Suppliers (Energy Supply Organiza-tions, Energy Sales Organizations, Whose Buyers of Electricity (Capacity) Include the Population and (or) Categories of Con-sumers Equivalent to Them), in Order to Ensure Electricity Consumption by the Population and (or) categories equivalent to it].

7. Ustyuzhanina A.S., Paskar' I.N. Tarifoobrazovanie na rynke jelektroenergii raspre-delennoj generacii v Rossii [Tariff formation in the distributed generation electricity market in Russia]. *Jekonomika i upravlenie innovacijami = Economy and innovation management*. 2022. Vol. 1 (20). pp. 65-74.

8. NP «Sovet rynka». Optovyy rynek jelektroenergii [NP "Market Council". Wholesale electricity market]. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (poslednee obrashhenie: 21.09.2024).

9. NP «Sovet rynka». Roznichnyj rynek jelektroenergii [NP "Market Council". Retail electricity market]. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/retail/ceno> (last access: 21.09.2024).

10. Infrastrukturnyj centr «Jenerdzhinet». Arhitektura Interneta jenergii (IDEA) [Infrastructure center "Energinet". Internet of Energy Architecture (IDEA)]. URL: <https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-ru.pdf> (last access: 21.09.2024).

11. Infrastrukturnyj centr EnergyNet Upravlenie sprosom v jelektroenergetike Ros-sii: otkryvajushiesja vozmozhnosti [EnergyNet Infrastructure Center Demand Management in the Russian Electric Power Industry: Emerging Opportunities]. URL: <https://img-cdn.tinkoffjournal.ru/-/upravlenie-sprosom-v-elektroenergetike-rossii-otkryvaiushchiesia-vozmozhnosti.pdf> (last access: 21.09.2024).

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Authors

*Anastasia Ustyuzhanina* – student  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
650000, Kemerovo, Vesennyaya street, 28.  
E-mail: [au.ustyuzhanina@mail.ru](mailto:au.ustyuzhanina@mail.ru)

*Ivan Paskar* – senior lecturer  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
650000, Kemerovo, Vesennyaya street, 28.  
E-mail: [pin.egpp@kuzstu.ru](mailto:pin.egpp@kuzstu.ru)