

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 620.95

DOI:10.30724/1998-9903-2023-25-4-101-114

## КОНЦЕПЦИЯ ЗАМКНУТОГО РЕСУРСНОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Аристова А.А., Новикова О.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
novikova-olga1970@yandex.ru

**Резюме:** *АКТУАЛЬНОСТЬ.* Невозможность использования существующих информационных систем таких, как территориальных схем обращения с отходами (ТСОО) для формирования баланса спроса и предложения. ТСОО не позволяют выявить объем спроса и предложения на технологии переработки, а производители оборудования не ориентированы на понимание баланса спроса по стране. Технологическое развитие в части создания новых объектов энергетической переработки отходов требует обоснования перспектив для инвестирования. **ЦЕЛЬ.** Разработать концепцию замкнутого ресурсного цикла с использованием информационных потоков, направленных на выявление участников процесса. Искомый инструмент должен обеспечить понимание потребности в производстве биоэнергетического оборудования, потенциала спроса на НИОКР, а также на формирование государственных программ поддержки создания предприятий по переработке твердых коммунальных отходов (ТКО) и производств биоэнергетического оборудования. **МЕТОДЫ.** Разработка концепции замкнутого ресурсного цикла характеризуется проектированием концепции, включающее в себя методы дивергенции, трансформации и конвергенции. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** В работе описана актуальность темы, связанная с невозможностью использования существующих информационных систем таких, как территориальных схем обращения с отходами (ТСОО) для формирования баланса спроса и предложения на технологии переработки. Выявлены потенциальные участники формирования замкнутого ресурсного цикла на всем жизненном цикле проекта по переработке отходов с определением роли участников и связей между ними, а также особенностей информационного потока каждого участника. Предложена концепция, основанная на формировании информационной системы, в которой каждый участник может максимально реализовать свои потребности в ресурсах и эффекте. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Предлагаемая система позволяет усовершенствовать существующую систему обращения с отходами, обеспечивает возврат сформированных отходов в ресурсный цикл. Пока источник формирования отходов не удовлетворяет спрос на реализацию образующихся отходов, будет образовываться спрос новых мощностей по переработке и новых проектов, определяющие эффективность предлагаемой системы – баланс образованных и переработанных отходов. Главным отличием предлагаемой системы от федеральной государственной информационной системы учета и контроля за обращением с отходами I и II классов (ФГИС ОПВК) является принцип работы – система основана на источнике формирования отходов, обеспечением баланса формирующих и переработанных отходов. Регистрация участников информационной системы предлагается осуществлять на цифровой платформе через единую систему идентификации и аутентификации (ЕСИА).

**Ключевые слова:** биоэнергетика; замкнутый ресурсный цикл; энергетическая переработка; отходы производства; отходы потребления; информационная система.

**Для цитирования:** Аристова А.А., Новикова О.В. Концепция замкнутого ресурсного цикла с использованием инновационной информационной системы развития биоэнергетики //

## THE CONCEPT OF A CLOSED RESOURCE CYCLE USING AN INNOVATIVE INFORMATION SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT OF BIOENERGY

AA. Aristova, OV. Novikova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

novikova-olga1970@yandex.ru

**Abstract:** *RELEVANCE.* The impossibility of using existing information systems, such as territorial waste management schemes (TSOs) to form a balance of supply and demand. TSOs do not allow us to identify the volume of demand and supply for processing technologies, and equipment manufacturers are not focused on understanding the balance of demand across the country. Technological development in terms of creating new facilities for energy waste processing requires justification of prospects for investment. *THE PURPOSE.* Develop the concept of a closed resource cycle using information flows aimed at identifying participants in the process. The desired tool should provide an understanding of the need for the production of bioenergy equipment, the potential for demand for R&D, as well as the formation of state programs to support the creation of enterprises for the processing of municipal solid waste (MSW) and the production of bioenergy equipment. *METHODS.* The development of the concept of a closed resource cycle is characterized by the design of the concept, which includes the methods of divergence, transformation, and convergence. *RESULTS.* The paper describes the relevance of the topic associated with the impossibility of using existing information systems such as territorial waste management schemes (TSMS) to form a balance of supply and demand for processing technologies. Potential participants in the formation of a closed resource cycle throughout the life cycle of a waste processing project are identified, with the role of participants and the links between them, as well as the characteristics of the information flow of each participant, identified. A concept is proposed based on the formation of an information system in which each participant can maximize their needs for resources and effect. *CONCLUSION.* The proposed system makes it possible to improve the existing waste management system, ensures the return of generated waste to the resource cycle. systems - the balance of generated and recycled waste. The main difference between the proposed system and the federal state information system for accounting and control of waste management of classes I and II is the principle of operation - the system is based on the source of waste generation, ensuring the balance of generating and processed waste.

**Keywords:** *bioenergy; closed resource cycle; energy processing; production waste; consumption waste; information system.*

**For citation:** Aristova AA., Novikova OV. The concept of a closed resource cycle using an innovative information system for the development of bioenergy. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2023;25(4):101-114. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-4-101-114.

### **Введение (Introduction)**

Проблема накопления отходов различного происхождения требует организационных и технологических решений, в отношении возврата в ресурсный цикл постоянно возникающих отходов-ресурсов и переработки уже накопленных. В 2021 году на территории РФ было образовано порядка 8448,6 млн т отходов производства и потребления, что выше на 21,5% по сравнению с 2020 г. [1]. Одной из причин изменения объемов отходов производства и потребления является восстановление экономики РФ после сокращения влияния пандемии COVID-19, развитие отрасли добычи полезных ископаемых, увеличение численности населения (рис. 1).

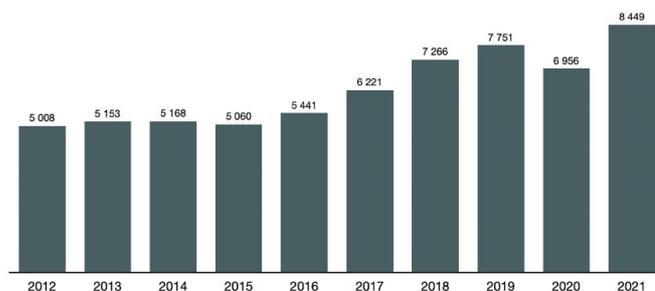


Рис. 1. Динамика объема образования отходов производства и потребления, млн т

Fig. 1. Dynamics of waste generation and consumption, mln

\*Источник: составлено автором на основании данных [1].

Source: compiled by the author on the basis of data [1]

Доля твердых коммунальных отходов в 2021 году уменьшилась на 0,2% (48362,8 тыс. т) [1]. Более высокое значение показателя для ЦФО объясняется большей численностью населения по сравнению с другими федеральными округами (рис. 2).

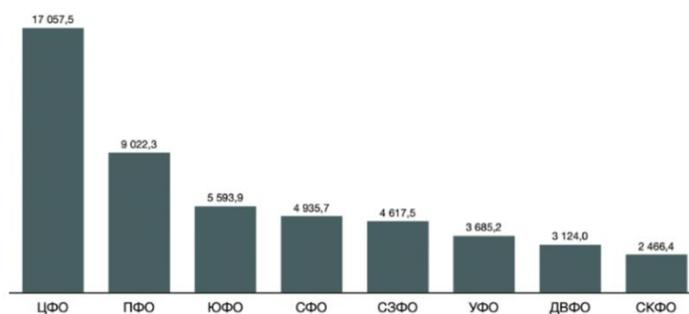


Рис. 2. Распределение объема образования ТКО по федеральным округам РФ в 2021 г., тыс. т

Fig. 2. Distribution of TKO education volume by federal districts of the Russian Federation in 2021, ths. Tons

\*Источник: составлено автором на основании данных [1].

Source: compiled by the author on the basis of data [1].

Создание концепции замкнутого ресурсного цикла с использованием инновационной информационной системы обусловлено невозможностью использования существующих информационных систем таких, как территориальных схем обращения с отходами (ТСОО) для формирования баланса спроса и предложения. ТСОО не позволяют выявить объем спроса и предложения на технологии переработки, а производители оборудования не ориентированы на понимание баланса спроса по стране. Технологическое развитие в части создания новых объектов энергетической переработки отходов требует обоснования перспектив для инвестирования. Научное и практическое значение предлагаемой концепции обусловлено отсутствием единого подхода на государственном уровне создания информационной системы, учитывающей биоэнергетический потенциал и увязывающий экологические требования с решением вопроса энергетической безопасности.

Одно из направлений, рассматриваемых в числе энергетических способов утилизации отходов, предполагает использование биоэнергетических установок. Существуют примеры реализовать такие технологии [2, 3]. Так, Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», реализованный в рамках Государственной программы РФ «Охрана окружающей среды» для создания эффективной системы обращения с отходами производства и потребления, на 2020 год включает мощности по утилизации ТКО путем их использования для производства электрической и тепловой энергии со значением 2,8 млн т, цель к 2023 году – 3,35 млн т в год [4]. Но нет системы, формирующей перспективы спроса и предложения по отходам, по проектам и технологиям переработки, в том числе биоэнергетической. Как отмечается экспертами, в России слишком мало действующих биогазовых установок, а внедрение новых проектов идет медленно и неэффективно [5]. Если говорить о крупных промышленных биогазовых установках, то на сегодняшний день введены в эксплуатацию только четыре промышленных установки: две биогазовые станции (БГС) Мосводоканала

(Люберцы и Курьянова), где в качестве сырья используются иловые осадки, и две БГС компании «АльтЭнерго» в Белгородской области – «Лучки» (2,4 МВт/ч, сырье – свиноводческие стоки, силосные массы и отходы местного перерабатывающего завода «Агро-Белогорье») и «Байцурь» (сырье – свиноводческие стоки, дополнительное сырье – силосные массы или рожь). Несколько проектов по малым и средним мощностям включают следующие: «МосМедыньАгропром» в Калужской области и «Мортадель» в Московской области, которые имеют собственные биогазовые установки; ООО «СельхозБиоГаз» реализован пилотный проект в Кировской области; ООО «ЭнергоРежим» в Оренбургской и Ростовской областях, Удмуртии и Пермском крае реализовала 15 проектов «под ключ» и готовится к реализации еще 5 проектов (стоимость каждого проекта – от 3,5 млн руб.). В 2015 году в Крыму (с. Тургенево, Белогорский район) была запущена выработка электроэнергии за счет сжигания свалочного газа. Количество вырабатываемой электроэнергии составляет около 60 кВтч в год. Огромный потенциал формирования бытовых отходов крупных городов и регионов позволяет рассмотреть их общие возможности использования [1]. Ленинградская область отличается большим количеством агропромышленных предприятий, крупных продовольственных сетей и пищевой промышленности, что признано перспективой для развития биоэнергетики. В 2019 году петербургская биотехнологическая компания «Эволюция биогазовых систем» (Эвобиос) ввела в эксплуатацию комплекс по переработке органических отходов на территории АО «Племзавод «Первомайский» (п. Плодовой, Приозерский район, Ленинградская обл.) [5]. Однако эти предприятия позволяют переработать очень незначительную часть отходов региона и вернуть в ресурсный цикл менее 13% (минимум – 0,9% в ДВФО, максимум – ЦФО 12,1%) формируемых твердых коммунальных отходов на момент 2021 г. (рис. 3).

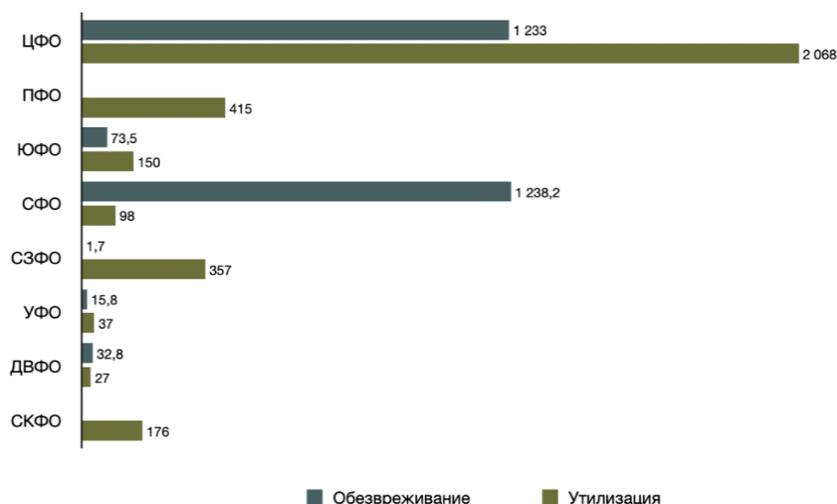


Рис. 3. Динамика обезвреживания и утилизации ТКО по федеральным округам РФ в 2021 г., тыс. т

\*Источник: составлено автором на основании данных [1].

Fig. 3. Dynamics of decontamination and utilization of industrial complex waste in federal districts of the Russian Federation in 2021

Source: compiled by the author on the basis of data [1]

Несколько отечественных производителей биогазовых установок предлагают биогазовое оборудование для станций средней и малой мощности: ЗАО «Центр ЭкоРОС», ООО «Гринтек», ОАО «Волжский дизель имени Маминых», ООО «Мелькомпинжиниринг», ООО «Сибирский институт прикладных исследований», ЗАО «Энерг-биогаз», ОАО «Концерн КОНАТЭМ», ООО «Корпорация «БиоГазЭнергоСтрой», ООО «Агробиотех», ООО «СельхозБиоГаз» [5]. В частности, технология LANDCO, запатентованная компанией «Агробиотех» (г. Санкт-Петербург), позволяет полностью извлекать биогаз, как автономный источник тепла и электроэнергии, одновременно производя сложные комплексные жидкие микробиологические удобрения и чистую воду. Преимуществом биогазовой установки производства «СельхозБиоГаз» (г. Киров) является модульность установки, которая позволяет гибко подбирать мощности переработки в зависимости от потока органических отходов – от 100 кг до 1000 т в сутки. Российский разработчик биогазовых заводов, комплексов и установок НПО «BioGasRussia» (г. Яранск, Кировская обл.) также практикует индивидуализацию и предоставляет животноводческим, птицеводческим, крупным и мелким фермерскими и частным хозяйствам специальные комплексные установки, работающие автономно в соответствии с потребностями заказчика.

Несмотря на запуск системы поддержки биогазовой энергетики России в 2016 году, которая обязывает сетевые компании покупать «зеленую» электроэнергию по более высоким тарифам, биогазовый потенциал сельскохозяйственного сектора до сих пор остается практически невостребованным. Медленное развитие биогазового сектора в основном связано с низкой инвестиционной активностью. Отсутствуют конкурентноспособные отечественные технологии, делающие инвестиционные предложения более привлекательными. Инвестиции в оборудование, строительство и проектирование для производства 1 кВт на когенерационной установке в среднем составляют около 3–5 тыс. евро. При текущей стоимости газа \$150/м<sup>3</sup> срок окупаемости биогазового проекта составляет 7 лет. В Европе стоимость биогаза на сегодняшний момент около \$1000/м<sup>3</sup>, тогда как цена газа – около \$250/м<sup>3</sup>, что может быть конкурентоспособным. В экспорте биогаза из России (после сертификации) доминируют «Газпром», единственный экспортер газа, который не заинтересован в такой конкуренции и поэтому не может конкурировать. Для развития внутреннего рынка фермерам, заинтересованным в производстве биогаза, необходима поддержка интереса для повышения рентабельности их основного производства с помощью небольших установок и сделать его экологичным. Например, практический опыт ООО «ЭнергоРежим» показал, что в российских условиях оптимальными являются небольшие установки объемом 25–100 м<sup>3</sup>, способные производить 2,5–10 т органики с производством газа, тепла и 100 кВтч электроэнергии в сутки [5].

Для проведения системного анализа информационной среды, в качестве которой использовалась база данных ScienceDirect, на языке программирования Python 3 рассмотрен процесс сбора данных (parsing) с использованием библиотеки selenium. В результате системного анализа выделено 6 направлений, описательная характеристика которых рассмотрена ниже:

1. «Направление 1» определяется токенами climate”, “temperature”, “global”, “co2”. Данная совокупность токенов выступает в качестве одной из причин развития биоэнергетики – глобального изменения климата. Поскольку расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) имеет важное значение для любых усилий по сдерживанию глобального потепления, возникает обоснованность выявления данного направления.

*Актуальность* заключается в том, что биоэнергетика может способствовать смягчению последствий изменения климата, даже несмотря на то, что при сжигании биотоплива может выделять больше углекислого газа на единицу произведенной энергии, чем ископаемое топливо, такое как уголь и нефть [6].

*Значимость* данного кластера подтверждается моделированием Международного энергетического агентства (МЭА) о сохранении глобального потепления ниже 2 °С в этом столетии, показывающим, что доля современной биоэнергетики в мировом энергобалансе вырастет с 4,5% до 17% к 2060 году, и определяет одну из основополагающих причин развития вектора биоэнергетики в мире.

2. «Направление 2» определяется токенами: “fuel”, “source”, “msw”, “resource”, “feedstock”. Данная совокупность токенов объединяет статьи, представляющие описательную характеристику ресурсов для получения энергии, или же с указанием их классификации. В двух случаях *значимость* направления обуславливается связью «вид отходов – используемая технология – получаемое сырье (продукция)», где данное направление стоит в 1 звене. *Актуальность* сосредоточена на том, что выбор эффективной переработки без понимания свойств отходов невозможна, поскольку одним из характерных свойств твердых коммунальных отходов является неоднородность состава связи [7]. Также от способа переработки опасного мусора зависит выделение ядовитых веществ в атмосферу. Кроме того, выбор способа переработки осуществляют, исходя не только из состава отходов, но и длительности использования и степени опасности окружающей среды, что указывается в описательной характеристике отходов и классификации [8,9].

3. «Направление 3» определяется токенами: “biomass”, “bioenergy”, “biogas”, “gas”, “technology”, “electricity”, “generation”. Данная совокупность токенов объединяет статьи, описывающих возможные технологии энергетической переработки биомассы с получением электроэнергии.

*Актуальность* сформированного направления основана на увеличении темпов продуцирования различных видов отходов, вследствие увеличения роста экономики мира, и порядка 33% этих отходов на данный момент нерационально используются за счет сжигания или же примитивного открытого хранения или захоронения [10]. По оценкам Всемирного банка, уровень экономического развития, рост численности населения и урбанизация стран в целом приведут к увеличению образования отходов с 2,01 млрд т в 2016 году до 3,40 млрд т

к 2050 году. Ввиду этого возникает необходимость минимизирования отходов посредством разумной утилизации с сопутствующей вторичной переработкой и выработкой энергии, позволяющая обеспечить экологическую замкнутость производственного цикла – важнейшего критерия перехода к циркулярной экономике. *Значимость* этого направления определяется углеродной нейтральностью биомассы и развитию в отношении устойчивого общества и переход от ископаемого топлива к производству электроэнергии на основе устойчивых источников топлива [11].

4. «Направление 4» определяется токенами: «utilization», «renewable», «conversion», «organic», «waste», «energy». Данная совокупность токенов объединяет статьи, посвященные проблемам переработки и утилизации отходов.

*Актуальность* данной тематики заключается в неразумном обращении с отходами, особенно в развивающихся странах, где оно представляет серьезную угрозу для общества и окружающей среды. Вследствие чего область обращения с отходами превратилась из сектора, ориентированного на первичную обработку и утилизацию, в отрасль оптимальной валоризации потоков отходов в широкий спектр продуктов, используя технологии биоочистки [12].

*Значимость* направления обуславливается необходимостью управления потоками отходов с целью разумного использования, производству энергии и сохранению первичных ресурсов.

5. «Направление 5» определяется токенами: «municipal», «government», «urban». Данная совокупность токенов указывает на роль общественных и государственных организаций в развитии использования биоэнергетики и переработки ТКО. Поскольку важнейшим критерием эффективного применения биотехнологического потенциала в развитии энергетики является поддержка государства, заключающаяся в наличии нормативно-правового регулирования потоков биомассы и финансового обеспечения необходимых проектов биоэнергетики, объясняет актуальность данного направления [13]. *Значимость* данного направления заключается в целесообразности проведения прямого или косвенного метода государственного регулирования обращения с отходами, идущее на производство сырья, предназначенного для производства инновационной продукции. А также в поддержке создания общественных организаций [14], деятельность которых направлена на решение проблем обращения с отходами и основана на привлечении внимания к проблемам общества и властей.

6. «Направление 6» определяется токенами: «country», «area», «sector», «land». Данная совокупность токенов представляет влияние климатических условий, месторасположения объектов биоэнергетики на возможности использования технологий переработки ТКО.

*Актуальность* данного направления заключается в наличии климатических характеристик, определяющих производство биотоплива путем переработки отходов, в том числе ТКО. Наиболее чувствительными к климатическим условиям и их изменениям является лесное и сельское хозяйство, и именно эти отрасли производят наибольшее количество сырья для биотоплива [15]. *Значимость* данного направления заключается в необходимости разработок моделей оценки, или повышения, энергетической эффективности биоэнергетического оборудования в зависимости от климатических факторов, а также в исследовании свойств сырья для получения биотоплива.

#### **Материалы и методы (Materials and methods)**

В исследовании применяется проектирование концепции. Специфика концепции управления, как предмета исследования, определяет метод интеграции исследования. Интеграция может быть достигнута путем применения методов дивергенции, трансформации и конвергенции последовательно в три этапа, что и применено в рамках статьи (рис. 4).



Рис. 4. Методы проектирования концепции

Fig. 4. Design methods of the concept

\*Источник: составлено автором на основании данных [1].

Source: compiled by the author on the basis of data [1]

Дивергенция наиболее эффективно используется, когда предмет исследования не определен, в нашем случае абсолютно ясна причина исследования. Существуют три

способа достижения изменений подхода к использованию ресурсов: полностью замкнуть производственный цикл (переработка отходов производства); максимально сузить цикл (улучшение дизайна продукции); замедлить его (ремонт, аренда, совместное использование). В рамках статьи выбран первый способ, так как развитие замкнутого ресурсного цикла позволяет максимально повлиять на рост доли утилизации отходов (по РФ в среднем 13% за 2021 г.), учитывая, что в цикл переработки отходов также входят предприятия и полигоны по утилизации, не базирующиеся на энергетической переработке отходов. Кроме того, развитие циркулярной экономики накладывает на перспективы использования биоэнергетических установок, описанные ранее в научных работах [16,17]. Хотя биоэнергетика не может полностью заменить основные технологии генерации электроэнергии, так как данный сектор имеет еще потенциал НИОКР, но уже есть понимание, что ресурсный потенциал биоэнергетики велик и возобновляем. Следует подчеркнуть, что важнейшим критерием перехода к циркулярной экономике является экологическая устойчивость производственного цикла, которая может быть достигнута за счет использования биогазовых технологий, относящиеся к категории возобновляемых источников энергии. Следовательно, логично замкнутый ресурсный цикл с применением биоэнергетического оборудования выступает в качестве *объекта исследования*.

Следующим рассматриваемым методом исследования является метод трансформации, который заключается в отображении проблемы исследования в виде структуризации цели и задач исследования. Поскольку в рамках статьи выбран первый способ достижения экономики замкнутого цикла, необходимо выявить средства, позволяющие сформировать альтернативную концепцию традиционной модели экономики. Для этого ставим задачу в выявлении потенциальных участников формирования замкнутого ресурсного цикла, чья деятельность может способствовать его созданию. Поскольку формирование отходов происходит от каких-либо предприятий или жизнедеятельности населения, то основой системы выбран источник формирования отходов, так как цель концепции – обеспечение баланса сформированных и переработанных отходов путем биоэнергетической переработки. Отсюда возникает вопрос: какие ресурсы необходимы для создания биогазового комплекса? Безусловно для создания проектов потребуются в качестве разработчиков – проектные организации, в качестве источника основных фондов - производители биоэнергетического оборудования, с точки зрения финансирования данных разработок – муниципальные власти (как наиболее заинтересованные в формировании ЗРЦ на уровне муниципальной территории) и негосударственные инвесторы (как бизнес-партнеры). При формировании концепции учтено, что уже появляются на отечественном рынке эксплуатируемые биоэнергетические установки с определенными потребностями в необходимом сырье. То есть участниками ЗРЦ являются потребители отходов, которые самостоятельно реализовали бизнес-модель с понятными цифровыми параметрами входа и выхода.

Далее рассмотрим метод, называемый конвергенцией. Определение участников формирования ЗРЦ задает направление на выявление информационных связей между ними, позволяющие обеспечить ЗРЦ. Для этого проработаны всевозможные ситуации сотрудничества, направленные на создание ЗРЦ: выделены участники и обязательный процесс информационных потоков участников системы с центром системы – источником формирования отходов. То есть предложен информационный механизм формирования спроса и предложения ресурсов участников. Теперь ставится задача в поиске информационной среды, которая объединит в одном месте всех участников процесса, а также позволит каждому принимать решение о возможностях собственного развития и влияние на формирования ЗРЦ. Вследствие чего *предметом исследования* является концепция информационной системы реализации замкнутого ресурсного цикла (ЗРЦ).

#### **Результаты (Results)**

Поскольку ТСОО не обеспечивают развитие и внедрение ЗРЦ, предлагается создание информационной системы, которая позволит участникам ресурсного цикла определить баланс спроса и предложения и выявить потенциал участия.

Участники и процессы ресурсного цикла рассматриваются с точки зрения реализации замкнутого ресурсного цикла по критерию максимизации энергетической переработки формируемых на источнике отходов.

Концепция инновационной информационной системы состоит из:

1. Цели – обеспечение баланса между образующимися и перерабатываемыми отходами путем биоэнергетической переработки.

2. Участников: источник формирования отходов; потребители отходов; проектные организации; производители биоэнергетического оборудования; муниципальные власти; негосударственные инвесторы.

3. Роли участников системы:

Источник формирования отходов – формирует данные по объемам и классам отходов; обеспечивает баланс формирующих и переработанных отходов; потребители отходов.

Потребитель отходов – размещает информацию по формируемым отходам; осуществляет поиск источников для реализации существующих у него ресурсных циклов (технологий переработки).

Проектная организация – размещает информацию о выполненных проектах и предложениях по типовым проектам; осуществляет поиск источников для формирования предложений по созданию ЗРЦ на основании ТЗ; осуществляет подбор оборудования и поиск производителей; обеспечивает полную инициацию проекта, включающую в себя выбор технологии переработки отходов на основе классификатора «вид отходов – технология» и подбор оборудования.

Производитель биоэнергетического оборудования – размещает информацию о типовом оборудовании, производимом на своих мощностях; осуществляет поиск рынка сбыта, по данным проектных организаций и источников формирования отходов.

Муниципальная власть – осуществляет поиск несбалансированных источников формирования отходов и размещает информацию о возможностях финансирования проектов ЗРЦ; возможный источник финансирования проектов путем создания или выполнения Государственных программ поддержки или системы субсидирования.

Негосударственный инвестор – осуществляет поиск несбалансированных источников формирования отходов и размещает информацию о возможностях финансирования проектов ЗРЦ; обеспечивает часть финансирования проектов, удовлетворяющих показателям эффективности.

4. Концептуальной схемы информационной системы с указанием участников процесса и вариантами процессов (рис. 5).

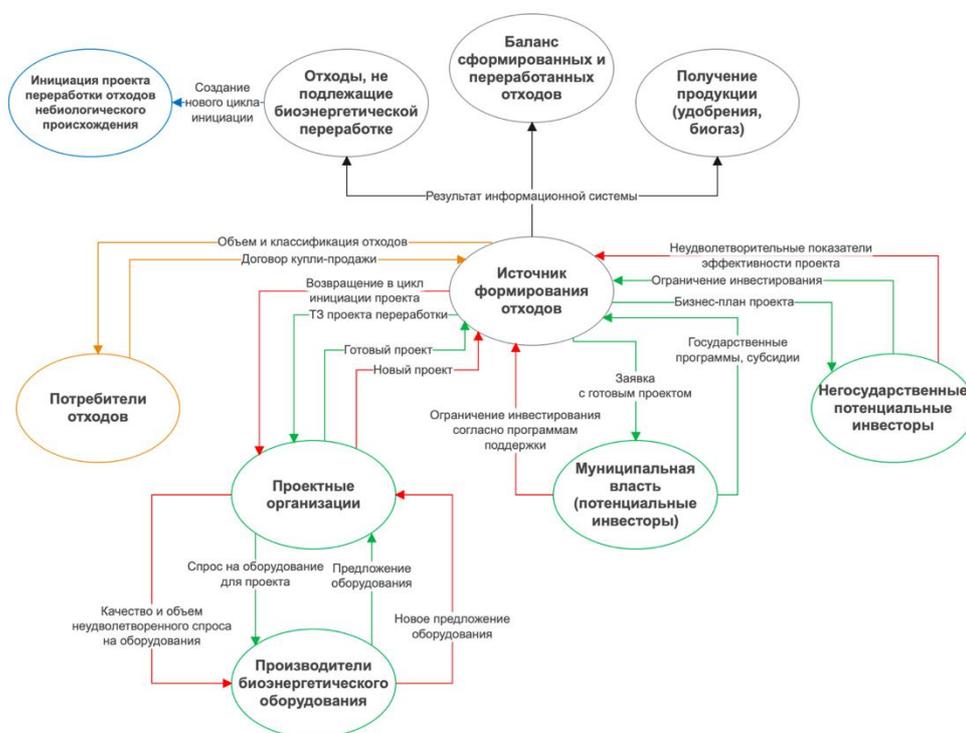


Рис. 5. Схема информационных потоков для обеспечения замкнутого ресурсного цикла

Fig. 5. Schema of information flows for a closed resource cycle

\*Источник: составлено автором на основании данных[1].

Source: compiled by the author on the basis of data [1]

5. Информационных взаимосвязанных процессов между участниками для формирования ЗРЦ с использованием биоэнергетической переработкой (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Основные информационные процессы для формирования ЗРЦ с использованием биоэнергетического преобразования отходов  
*Main information processes for the formation of a ERP using bioenergy waste conversion*

<i>Процесс</i>	<i>Информация на входе</i>	<i>Информация на выходе</i>
Формирование баланса сформированных и переработанных отходов источника формирования отходов	Договор купли-продажи отходов с указанием необходимых отходов; Готовый проект переработки; Государственные, региональные и муниципальные программы финансирования; Финансовые ограничения инвесторов	Объем и классификация отходов; ТЗ проекта переработки; Заявка на бюджетное финансирование с готовым проектом; Бизнес-план проекта
Формирование спроса на оборудование, обеспечивающие баланс сформированных и переработанных отходов	Предложение по номенклатуре и количеству оборудования	Спрос на оборудование от проектных организаций и потребителей отходов

*\*Источник: составлено автором на основании данных [1].*

*Source: compiled by the author on the basis of data [1]*

6. Показателей эффективности участников системы:

Источник формирования отходов – доля переработки отходов; снижение платы за утилизацию отходов; создание ЗРЦ предприятия.

Потребитель отходов – получение прибыли; увеличение мощностей предприятия.

Проектная организация – увеличение валовой выручки; увеличение прибыльности организации; увеличение имиджевой составляющей стоимости компании (gudvil).

Производитель биоэнергетического оборудования – расширение рынка заказчиков; экономическая целесообразность развития собственных технологий.

Муниципальная власть – реализация Федеральных проектов Государственных программ; создание дополнительных рабочих мест; реализация ЗРЦ для улучшения показателей по доле переработки отходов в регионе.

Негосударственный инвестор – получение прибыли; увеличение имиджевой составляющей стоимости компании-инвестора (gudvil).

Целесообразность разработки и применения информационной системы напрямую зависит от заинтересованности участников системы, что обуславливается определением эффективности применения информационной системы каждым участником.

7. Показателя эффективности информационной системы – баланса сформированных и переработанных отходов источника формирования отходов.

#### **Обсуждение (Discussion)**

При разработке концепции инновационной информационной системы для реализации ЗРЦ были рассмотрены недостатки существующих ТСОО. На данный момент не указываются на законодательном уровне целевые показатели, определяющие эффективность работы территориальных схем и соответственно нет ответственного органа за их достижение [18]. Одним из главных недостатков ТСОО является отсутствие системы управления потоками отходов в регионах с использованием современных информационных технологий и финансовых моделей этих систем. Кроме того, представленные характеристики и описания не дают полной картины потенциала использования отходов для создания ЗРЦ путем выработки энергии или же переработки с получением иной вторичной продукции. Например, в большинстве ТСОО дается характеристика и классификация отходов отдельных населенных пунктов и предприятий, данные отчетности по доли переработанных отходов, данные по наличию отдельных предприятий по переработке отходов, но не ясно как все эти объекты между собой связаны. То есть реальные потоки отходов-ресурсов могут быть межрегиональными и не ясно какая потребность у конкретного региона в каких технологиях переработки. Не понятно какая продукция переработки, в том числе энергия, наиболее востребована в конкретных населенных пунктах или регионах. То есть логистика и объемы формируются стихийно, а производитель оборудования не может оценить перспективы спроса на технологии.

В настоящее время все больше регионов занимаются разработкой программ модернизации жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), направленных на перевод

котельных на биомассу и биотопливо. Накопленный положительный опыт российских и зарубежных компаний в данном направлении позволяет масштабировать внедряемые технологии. Поскольку логистические издержки могут повлиять на капитальные затраты, цену оборудования и, следовательно, на экономический эффект всей биоэнергетической установки, целесообразно рассмотреть присутствие производителей территориально.

По оценкам экспертов, рынок котельного оборудования имеет следующее распределение: 40 % котельного оборудования предлагается российскими производителями; 25 % приходится на новое зарубежное оборудование; 20 % предложений поддержанного зарубежного оборудования; 10 % - модернизированное отечественное оборудование; 5 % - производители из Республики Беларусь [5].

Относительно небольшое количество производителей котельного оборудования специализируется на производстве котлов, работающих на биотопливе, и большинство из них расположены в Центральной и Северо-Западной частях России, тем не менее тенденции развития рынка топлива приводят их продукцию привлекательной для инвестиций. Наиболее активны в данной отрасли производители оборудования: ООО «Союз», ЗАО «ЗИОСАБ», ПО «Теплоресурс», ООО «ковровские котлы», ООО «Экодрев-Тверь», группа компаний «Адаптика». Оборудование китайских производителей активно поставляется на дальнем Востоке, однако сложно оценить масштабы их выхода на российский рынок. Среди зарубежных производителей в более высоких ценовых диапазонах наиболее востребована продукция австрийской компании POLYTECHNIK, финской Wartsila, немецких «Виссманн» и HSK, польской Namesch, шведских KMB, Saxlund и Notab. К отечественным производителям котлов относятся Бийский котельный завод (БиКЗ), ООО «Ковровские котлы» (г. Ковров, Владимирская область), ООО «Экодрев-Тверь» (г. Тверь), ООО «БАЛТКОТЛОМАШ» (г. Санкт-Петербург), «КАМИ-Станкоагрегат» (г. Москва), ООО «Союз» (пос. Глебово, Владимирская область), «Комконт» и др.

Реализацию информационной системы предлагается осуществлять на цифровой платформе через единую систему идентификации и аутентификации (ЕСИА). Для регистрации участникам информационной системы необходимо указывать информацию в системе для возможности понимания своей роли другими участниками (табл. 2).

Таблица 2  
Table 2

Участники информационной системы для обеспечения ЗРЦ  
*Participants in the ERP information system*

<i>Участник системы</i>	<i>Информация обязательная для размещения в информационной системе</i>
Источник формирования отходов	Описание предприятия; Объем и классификация образующихся отходов; Ссылка на веб-сайт
Потребитель отходов	Описание предприятия; Требуемые объем и вид (класс) отходов; Ссылка на веб-сайт
Проектные организации	Описание организации; Реализованные проекты; Ссылка на веб-сайт
Производители биоэнергетического оборудования	Описание предприятия; Каталог производимого оборудования с указанием технических характеристик; Ссылка на веб-сайт
Муниципальные власти	Государственные программы поддержки проектов, или субсидии; Ссылка на веб-сайт
Негосударственные потенциальные инвесторы	Описание организации/физического лица; Ограничения инвестирования (возможный объем инвестиций, сфера деятельности проекта); Ссылка на веб-сайт

*\*Источник: составлено автором на основании данных [1].*

*Source: compiled by the author on the basis of data [1]*

Целевая функция системы: максимизация доли переработанных отходов. На схеме (рис. 5) представлены два направления формирования ЗРЦ, которые могут существовать параллельно: желтым цветом – продажа отходов потребителю, который сам определяет технологию переработки за счет имеющихся мощностей; зеленым цветом – создание и реализация проекта по переработке для источника или группы источников формирования отходов. При этом в случае несоответствия проекта показателям эффективности на этапе определения источника финансирования, или же ограничение инвестирования согласно программам поддержки (выделено красным цветом), система возвращает проект на этап инициации. Возврат проекта на доработку проектной организации может включать в себя

следующие предложения: необходимость поиска новой технологии переработки, удовлетворяющей экономической эффективности, или же нового оборудования; рассмотрение других источников финансирования. Доработанный новый проект снова предлагается одному или нескольким источникам инвестирования: муниципальной власти и негосударственному потенциальному инвестору. Кроме того, источники инвестирования могут предложить поддержать заинтересовавший их проект источнику формирования отходов самостоятельно, указав государственные программы поддержки, субсидии или ограничения инвестирования. Тогда источник формирования отходов сам принимает решение об источнике инвестирования. Таким образом ЗРЦ для каждого источника отходов-ресурсов формируется с учетом информации в системе. Региональные власти, заинтересованные в максимизации переработки отходов, могут управлять ею, иницилируя недостающие элементы в балансе. Например, стимулирование предприятий-производителей конкретного оборудования, проектных организаций, исследований в области технологий переработки тех видов отходов, по которым еще не сформирован ЗРЦ.

В рамках реализации предлагаемой информационной системы заложено контролирование доли переработанных отходов каждого источника формирования отходов с целью предоставления информации об изменении ситуации в реальном времени для муниципальных властей. Данная мера позволит информационной системе стать своего рода сигналом со стороны участников системы органам муниципалитета для инициации соответствующих мер.

Вследствие чего на уровне муниципалитета могут быть реализованы акции по привлечению внимания, направленные на необходимость развития существующих технологий биоэнергетической переработки и биоэнергетического и котельного оборудования, а также привлечение инвесторов, для создания межрегионального обмена.

На Федеральном уровне данная система должна быть разработана для каждого ФО для обеспечения взаимосвязи между ними, что позволит развить ЗРЦ с использованием биоэнергетической переработки и повысить оперативность и обоснованность принятия управленческих решений на уровне регионов

#### ***Заключение (Conclusion)***

В рамках разработки концепции ЗРЦ с использованием инновационной информационной системы выявлены участники системы: источник формирования отходов; потребители отходов; проектные организации; производители биоэнергетического оборудования; муниципальные власти; негосударственные инвесторы. Определены роли участников и связей между ними, а также особенностей информационного потока каждого участника.

Информационную систему предлагается реализовать на цифровой платформе с помощью единой системы идентификации и аутентификации (ЕСИА). Предлагаемая информационная система позволит собрать участников процесса для создания ЗРЦ, а также информацию для баланса сформированных и переработанных отходов потребителя, а также спроса на оборудование, обеспечивающего баланс сформированных и переработанных отходов.

Ожидаемые результаты: спрос на проекты по биоэнергетической переработке отходов; спрос на оборудование и развитие новых технологий; создание дополнительных рабочих мест для новых предприятий и улучшение показателей эффективности для муниципальных властей; снижение затрат на утилизацию отходов и повышение экологичности функционирования для источников формирования отходов.

До тех пор, пока источник формирования отходов не удовлетворяет спрос на реализацию формирующихся отходов, продолжает формироваться спрос новых мощностей переработки и новых проектов, что определяет эффективность предлагаемой системы – баланс сформированных и переработанных отходов.

Концепция направлена на достижение целей устойчивого развития региональной экономики, целей энергосбережения, минимизация потребностей добычи углеводородов, максимизации доли вторичных энергоресурсов, улучшение экологических показателей, максимизация создания новых или загрузка существующих производственных мощностей по производству оборудования для биоэнергетических установок.

#### **Литература**

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Доступно по: <https://news.solidwaste.ru/wp->

content/uploads/2022/09/Gosdoklada-OOS-2021-god-othody.pdf?ysclid=lfjvux9w2g554380960.

Ссылка активна на 28 марта 2023.

2. Андреев Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Трофимова И.Л. Энергия из биомассы: проблемы и ресурсы // Журнал С.О.К. 2022. №10. с. 52–56.

3. Кулагин В.А., Дунаева Н.В., Яковлева Д.Д. Новые технологии использования биогаза как способ решения экологических проблем // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. №. 1. С. 87–102.

4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». Национальный проект «Экология // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Доступно по: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/033e76349276306646f15c28434f9dac5687a1eb.pdf>. Ссылка активна на 28 марта 2023.

5. Отчет о реализации работы Технологической Платформы «Биоэнергетика» за 2021 год // ТП «Биоэнергетика». Доступно по: [https://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi\\_bioenergy\\_2021.pdf](https://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi_bioenergy_2021.pdf). Ссылка активна на 01 апреля 2023.

6. Weiguo L., Kui W., Hongke H., et al. Predicting potential climate change impacts of bioenergy from perennial grasses in 2050 // Resources, Conservation and Recycling. 2023. Vol. 190.

7. Nanda S., Berruti F. A technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste // Journal of hazardous materials. 2021. Vol. 403.

8. Karuseva N., Livshits S., Kotsubinski A., et al. The impact of innovative technologies on consumers in the power supply market // E3S web of conferences. 2019. Vol. 140.

9. Saravanan A., Ramesh B., Srinivasan S., et al. A review on biological methodologies in municipal solid waste management and landfilling: Resource and energy recovery // Chemosphere. 2022. Vol. 309. Pt. 1.

10. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2020. №1. Доступно по: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf?ysclid=lg9b2mz3j5986046986>. Ссылка активна на 5 апреля 2023.

11. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050: World Bank Publications; 2018.

12. Malmgren A., Riley G., Dermot J. Biomass power generation // Ref Mod Earth Sys Env Sci. 2012. Vol. 5. pp. 27–53. doi: 10.1016/B978-0-08-087872-0.00505-9.

13. Barik D. Comprehensive remark on waste to energy and waste disposal problems // Energy from Toxic organic Waste for heat and Power generation. 2018. pp. 205–209. doi: 10.1016/B978-0-08-102528-4.400013-4.

14. Люди и мусор: кто кого? // Центр экологической информации и культуры. Доступно по: <https://herzenlib.ru/ludiimutor/sites/?ysclid=lbkp4mfegs383886547>. Ссылка активна на 02 апреля 2023.

15. Errera M., Dias T. da, Maya D., et al. Global bioenergy potentials projections for 2050 // Biomass and Bioenergy. 2023. Vol. 170.

16. Аристова А.А., Тянь Ц. Сравнительная характеристика перспектив развития биоэнергетики России и Китая // Развивая энергетическую повестку будущего: Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК; 10–11 декабря 2021., Санкт-Петербург. Издательство: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. С. 293–298.

17. Romaniuk N., Novikova O. Feasibility Study of the Use of Plasma Gasification for Residential Complexes // International Scientific and Practical Conference "Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future"(EAF 2021). 2022. pp. 217–223.

18. Аристова А. А. Выявление потенциала развития замкнутого ресурсного цикла на основе исследования территориальных схем обращения с отходами // Современные тенденции в развитии экономики энергетики: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции; 1 декабря 2022 г., Минск. Минск: БНТУ, 2023. С. 89–91.

19. Борисова Д. Н., Пирогов Е. Н. Анализ конструкций и опыт эксплуатации биогазовых установок // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. №4. С. 1249–1253.

20. Negri F., Fedeli M., Barbieri M., et al. A versatile modular plant for converting biogas into advanced biofuels // Invention Disclosure. 2022. Vol. 2.

### Авторы публикации

**Аристова Анастасия Алексеевна** – магистрант Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0001-3003-2308>, [anastasiya-aristova.aristova@yandex.ru](mailto:anastasiya-aristova.aristova@yandex.ru)

**Новикова Ольга Валентиновна** – к.э.н., доцент, доцент Высшей школы Атомной и тепловой энергетики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0001-7025-3634>, [novikova-olga1970@yandex.ru](mailto:novikova-olga1970@yandex.ru)

### References

1. State Report "On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2021" // Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Available at: <https://news.solidwaste.ru/wp-content/uploads/2022/09/Gosdoklada-OOS-2021-god-othody.pdf?ysclid=lfjvux9w2g554380960>. Accessed: 28 Mar 2023.
2. Andreenko TI., Kiseleva SV., Rafikova YY, Trofimova IL. Energy from biomass: problems and resources. *Journal S.O.K.* 2022; 10: 52–56.
3. Kulagin VA., Dunaeva NV., Yakovleva DD. New biogas use technologies as a method for solving environmental problems. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2021. 91(1):87-102. doi: 10.31857/S0869587321010060.
4. State Report "On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2020". National project "Ecology. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Available at: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/033e76349276306646f15c28434f9dac5687a1eb.pdf>. Accessed: 28 Mar 2023.
5. Report on the implementation of the Technological Platform "Bioenergetics" for 2021. TP «Bioenergetics». Available at: [https://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi\\_bioenergy\\_2021.pdf](https://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi_bioenergy_2021.pdf). Accessed: 01 Apr 2023.
6. Weiguo L, Kui W, Hongke H, et al. Predicting potential climate change impacts of bioenergy from perennial grasses in 2050. *Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 190. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106818.
7. Nanda S, Berruti F. A technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste. *Journal of hazardous materials*. 2021;403. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123970
8. Karuseva N, Livshits S, Kotsubinski A, et al. The impact of innovative technologies on consumers in the power supply market. *E3S web of conferences*. 2019;140. doi: 10.1051/e3sconf/201914004009.
9. Saravanan A, Ramesh B, Srinivasan S, et al. A review on biological methodologies in municipal solid waste management and landfilling: Resource and energy recovery. *Chemosphere*. 2022;309(Pt 1). doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136630
10. Shilkina SV. Global trends in waste management and analysis of the situation in Russia. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online]. 2020. 1(7). Available at: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf?ysclid=lg9b2mz3j5986046986>. Accessed: 05 Apr 2023. (In Russ). doi: 10.15862/05ECOR120.
11. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, et al. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*: World Bank Publications; 2018.
12. Malmgren A, Riley G, Dermot J. Biomass power generation. *Ref Mod Earth Sys Env Sci*. 2012; 5:27–53. doi: 10.1016/B978-0-08-087872-0.00505-9.
13. Barik D. Comprehensive remark on waste to energy and waste disposal problems. *Energy from Toxic organic Waste for heat and Power generation*. 2018:205–209. doi: 10.1016/B978-0-08-102528-4.400013-4.
14. People and garbage: who's who? *Center for Environmental Information and Culture*. Available at: <https://herzenlib.ru/ludiimutor/sites/?ysclid=lbkp4mfegs383886547>. Accessed: 02 Apr 2023.
15. Errera M, Dias T. da, Maya D, et al. Global bioenergy potentials projections for 2050. *Biomass and Bioenergy*. 2023; 170. doi: 10.1016/j.biombioe.2023.106721
16. Aristova AA., Tian Ts. Comparative characteristics of the prospects for the development of bioenergy in Russia and China. *Developing the energy agenda of the future: International Scientific and Practical Conference for representatives of the community of young*

*fuel and energy engineers; 10-11 Dec 2021; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), 2021. pp. 293-298.*

17. Romaniuk N, Novikova O. Feasibility Study of the Use of Plasma Gasification for Residential Complexes. *International Scientific and Practical Conference "Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future"(EAF 2021)*. 2022:217–223. doi: 10.2991/aer.k.220308.035

18. Aristova AA. Identification of the development potential of a closed resource cycle based on research territorial waste management schemes. *Modern trends in the development of the energy economy: III International Scientific and Practical Conference; 1 Dec 2022; Minsk, Belarus*. Minsk: BNTU, 2023. pp. 89-91.

19. Borisova DN., Pirogov EN. Design analysis and operational experience of biogas plants. *Issues of sustainable development of society*. 2022; 4:1249-1253.

20. Negri F, Fedeli M, Barbieri M, et al. A versatile modular plant for converting biogas into advanced biofuels. *Invention Disclosure*. 2022;2. doi: 10.1016/j.inv.2022.100008

#### **Authors of the publication**

**Anastasia A. Aristova** – graduate student of the Higher School of Engineering and Economics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. *ORCID: 0009-0001-3003-2308, anastasiya-aristova.aristova@yandex.ru.*

**Olga V. Novikova** – PhD in Economic sciences, Associate Professor at the Department of Higher School of Nuclear and Thermal Power Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. *ORCID: 0000-0001-7025-3634, novikova-olga1970@yandex.ru*

*Шифр научной специальности: 2.5.10. Экологическая безопасность.*

**Получено** **20.07.2023г.**

**Отредактировано** **07.08.2023г.**

**Принято** **09.08.2023г.**