

7. Индекс инноваций Китая // Национальное статистическое бюро Китая. – URL: [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202410/t20241025\\_1957132.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202410/t20241025_1957132.html) (дата обращения: 28.07.2024).

China's Innovation Index // National Bureau of Statistic of China. – URL: [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202410/t20241025\\_1957132.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202410/t20241025_1957132.html) (date of access: 28.07.2024).

*Статья поступила в редакцию 21.11.2024.*

УДК 620.952

**N. Smolskaya**  
**M. Rezanovich**  
BSEU (Minsk)

## DEVELOPMENT OF BIOENERGY SYSTEMS IN THE REPUBLIC OF BELARUS: ASSESSMENT OF THE STATE AND WAYS TO SOLVE THE PROBLEM

*The article outlines the main methods for converting biomass into biofuel. Regulatory legal documents in the field of development of a “green” economy and effective energy saving, as well as the main directions for modernizing the policy of wood waste management in the Republic of Belarus are considered. With growing concerns about environmental sustainability and energy security, interest in alternative energy sources, especially bioenergy, has increased. Recently, many scenarios have been proposed for the use of bioenergy from different sources in future energy systems. In this context, one of the most significant challenges is the management, modelling, decision-making and prediction of the future of bioenergy systems.*

**Key words:** *bioenergy; bioenergy systems; sustainable development; biofuel; fuel and energy resources; waste management; control system; wood chips; pellets; wood waste; “green” economy; renewable energy.*

**Н. А. Смольская**  
кандидат экономических наук, доцент

**М. А. Резанович**  
магистр экономики и управления, аспирант  
БГЭУ (Минск)

## РАЗВИТИЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

*В статье представлены основные методы преобразования биомассы в биотопливо. Рассмотрены нормативные правовые документы в области развития «зеленой» экономики и эффективного энергосбережения, а также основные направления модернизации политики обращения с древесными отходами в Республике Беларусь. В связи с ростом обеспокоенности по поводу экологической устойчивости и энергетической безопасности увеличился интерес к альтернативным источникам энергии, особенно биоэнергетике.*

*В последнее время было предложено множество сценариев использования биоэнергии из разных источников в будущих энергетических системах. В этой связи одной из самых значительных проблем является управление, моделирование, принятие решений и прогнозирование будущего биоэнергетических систем.*

**Ключевые слова:** биоэнергетика; биоэнергетические системы; устойчивое развитие; биотопливо; топливно-энергетические ресурсы; обращение с отходами; система управления; древесная щепа; пеллеты; древесные отходы; «зеленая» экономика; возобновляемая энергетика.

В последние десятилетия такие мировые тенденции структурных преобразований, как урбанизация, модернизация и индустриализация, связанные с производством и использованием энергии, стали основополагающим звеном в экономических, научных и социальных секторах. Истощение невозобновляемых источников топлива стало мировой критической проблемой. Поэтому необходим новый взгляд в изучении альтернативных направлений преодоления нарастающего мирового энергетического кризиса с учетом экологических проблем и их смягчения, а также противодействия растущему спросу на энергию, который стал приоритетной задачей.

Большинство стран мира сегодня имеют и реализуют свои долгосрочные стратегии, цели и задачи развития использования возобновляемых источников энергии в целях замещения использования импортируемых видов ископаемого топлива и выполнения обязательств по Парижскому соглашению о сокращении выбросов парниковых газов. Актуальность и практическая значимость темы исследования также подтверждены на Всемирном саммите по борьбе с изменением климата, который проходил 11–22 ноября 2024 г. в г. Баку. Президент Республики Беларусь выделил три основных аспекта в сессии по вопросам климатической деятельности:

- «перенастроить национальные экономики для адаптации к новым условиям»;
- «помочь развивающимся странам получить равный доступ к “зеленым” технологиям без ущерба для их национальных интересов»;
- «разработать новые подходы к комплексной оценке потенциального воздействия инноваций на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла продукции»<sup>38</sup>.

Наиболее устойчивым решением является использование различных возобновляемых источников энергии из-за своей доступности. Биомасса – наиболее перспективный источник с 9 % от общего мирового потребления первичной энергии, из которых около 55 % традиционно используется в повседневной жизни, особенно в развивающихся странах мира.

Устойчивое энергетическое развитие – процесс развития способной к саморегулированию системы с целью достижения региональной энергетической безопасности при рациональном использовании энергоресурсов, обеспечении социального равенства в области доступа к энергоуслугам и сохранении окружающей среды в условиях неопределенности [1].

---

<sup>38</sup> Участие во Всемирном саммите по борьбе с изменением климата в Баку // Официальный интернет-портал Президента Республики Беларусь. – URL: <https://president.gov.by/ru/events/ucastie-vo-vsemirnom-sammite-po-borbe-s-izmeneniem-klimata-v-baku> (дата обращения: 12.11.2024).

Биомасса – это термин, который используется для всех органических материалов из растений, деревьев и сельскохозяйственных культур.

Биоэнергия (энергия биомассы) – это преобразование биомассы в полезные формы энергии, такие как тепло, электричество и жидкое топливо (биотопливо). Источниками биомассы для биоэнергии являются специальные энергетические культуры либо отходы переработки сельскохозяйственных культур, отходы рубок в процессе ухода за лесом, остатки лесоматериалов при заготовке древесины, расчистки земель для строительства и другие.

С экономической точки зрения сжигание биомассы имеет такие недостатки, как нанесение значительного ущерба окружающей среде, а также отсутствие восстановления энергии, что является нерациональной стратегией. В этом контексте преобразование биомассы в твердые, жидкие и газообразные формы считается эффективным и экологически чистым способом производства энергии в различных секторах, включая тепло, электроэнергию и транспортное топливо. Для этой цели необходимо выделить два метода – термохимический и биохимический. Термохимические методы используют всю биомассу в присутствии источника тепла и контролируемой кислородной атмосферы для ее модификации в различные формы энергии. Биохимические методы используют ферменты, бактерии или другие сконструированные организмы для преобразования его в жидкое топливо. Большинство видов топлива на основе биомассы, химикатов и органических соединений, таких как метан, этан, пропан, бутан, этилен, метанол, этанол, бутанол, диметилловый эфир, аммиак, уксусная кислота, формальдегид и другие, были произведены различными способами переработки биомассы в жидкость, что позволило стать им доступными по всему миру.

Термохимически, различные технологии, включая прямое сжигание, торрефикацию, гидротермальное сжижение, пиролиз и газификацию, были реализованы для производства жидкого топлива из биомассы. Термические процессы также классифицируются на низкотемпературные, которые обычно работают при температуре < 300 °C, такие как торрефикация (процесс используется для модернизации твердой биомассы для получения торрефицированного продукта, используемого позже в качестве подходящей альтернативы углю), гидротермальная карбонизация (считается менее энергозатратной и более эффективной стратегией, чем пиролиз, из-за лучших физико-химических свойств. Несмотря на более высокое качество, более высокое содержание кислорода приводит к получению очень липкого и кислого биосырого продукта с низкой теплотворной способностью), и высокотемпературные, которые работают при температуре > 300 °C, такие как методы газификации (процесс, при котором углеродистые материалы термохимически преобразуются в газы, часто называемые синтез-газами, в присутствии газифицирующего агента – воздух, кислород, пар, CO<sub>2</sub> или их комбинация – при температуре выше 700 °C), сжигания (производство энергии происходит в диапазоне температур 1 000–2 000 °C в присутствии воздуха) и пиролиза биомассы (считается одним из наиболее часто используемых термохимических сценариев для разложения углеродсодержащей биомассы, такой как целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, что приводит к образованию твердого, жидкого и газообразного биотоплива в бескислородной атмосфере посредством эндотермической реакции).

Развитие современных видов биотоплива (обработанных), подходящих для автоматизированного оборудования, началось после первого нефтяного кризиса 1970-х гг. в виде древесной щепы. Древесная щепа широко используется

в различных секторах экономики, в том числе при выработке электроэнергии.

Одними из распространенных способов переработки отходов в лесопромышленном комплексе Республики Беларусь является производство древесных плит и органического топлива – топливных гранул (пеллет) и брикетов.

Пеллеты, представляющие собой спрессованную биомассу, обычно изготавливаемые из промышленных, сельскохозяйственных и лесных отходов, а также энергетических культур, начали разрабатываться примерно 30 лет назад. Они зарекомендовали себя как новый и устойчивый вид твердого биотоплива, который может использоваться в небольших масштабах (например, кухонные печи, отопительные печи), а также на средних и крупных промышленных предприятиях.

Несмотря на то, что биомасса используется уже давно, по-прежнему сложно использовать ее эффективно и устойчиво.

Необходимо учитывать три важнейших фактора:

- наличие, качество и цена сырья;
- конверсионные технологии, эксплуатация и техническое обслуживание;
- устойчивость, включая лесовосстановление, сокращение выбросов углекислого газа и изменение землепользования.

Система управления древесными отходами приобретает все большее значение как способ интенсивного снижения нагрузки на воспроизводство минерально-сырьевой базы и ресурсоемкость экономики в целом, а также необходимость перехода на циркулярную экономику в целях экономической самодостаточности и высокой маржинальности<sup>39</sup>.

Эффективная и рациональная система управления древесными отходами должна формироваться с помощью комплексного подхода, включающего сбор, утилизацию, обезвреживание, транспортировку, хранение, захоронение, а также контроль на всех стадиях обращения.

Совершенствование системы управления древесными отходами в Республике Беларусь предусматривает:

- разработку и реализацию комплексной программы по организации системы управления древесными отходами;
- совершенствование методов управления древесными отходами;
- создание нормативной правовой базы и обеспечение государственной поддержкой реконструкции и модернизации действующих производств при переходе на малоотходные и ресурсосберегающие технологии на предприятиях лесопромышленного комплекса;
- разработку направлений по стимулированию развития «зеленых» технологий.

Согласно Национальному плану действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 гг. основными перспективами развития являются:

- снижение мирового спроса на энергоносители к 2050 г. почти на 40 % с помощью реализации программ в области энергоэффективности;
- снижение объемов выбросов CO<sub>2</sub> в секторе энергетики на 30 % к 2050 г. благодаря «зеленым» инвестициям<sup>40</sup>.

<sup>39</sup> Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З: с изм. и доп. от 13 июля 2016 г., № 397-З // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2016. – 2/2395.

<sup>40</sup> Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021– 2025 гг. : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 10 дек. 2021 г. № 710:

Согласно Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Республики Беларусь основными целями являются:

- сдерживание валового потребления топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР);
- увеличение объемов потребления местных ТЭР.

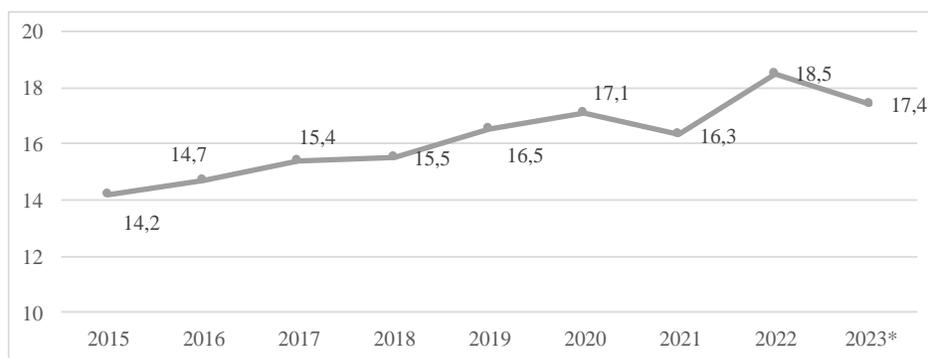
Данная Государственная программа включает две подпрограммы:

1. «Повышение эффективности» – обеспечить объем экономии ТЭР (целевой показатель – экономия ТЭР – 2,5–3,0 млн т у. т.).

2. «Развитие использования местных ТЭР, в т. ч. ВИЭ» – увеличить долю местных ТЭР, в т. ч. ВИЭ (целевой показатель – доля местных ТЭР в валовом потреблении ТЭР к 2026 г. – 16,1 %, в т. ч. доля ВИЭ в валовом потреблении ТЭР – 7–8 %).<sup>41</sup>

В настоящее время из 118 районов Республики Беларусь 45 имеют долю использования местных энергоресурсов более 70 %. Использование местных видов топлива обеспечивает устойчивое развитие, в том числе за счет энергетической безопасности.

На рис. 1 представлена динамика изменения доли местных ТЭР (без учета атомной энергии) в валовом потреблении ТЭР Республики Беларусь.



**Рисунок 1. Динамика изменения доли местных ТЭР за 2015–2023 гг. в Республике Беларусь, %<sup>42</sup>.**

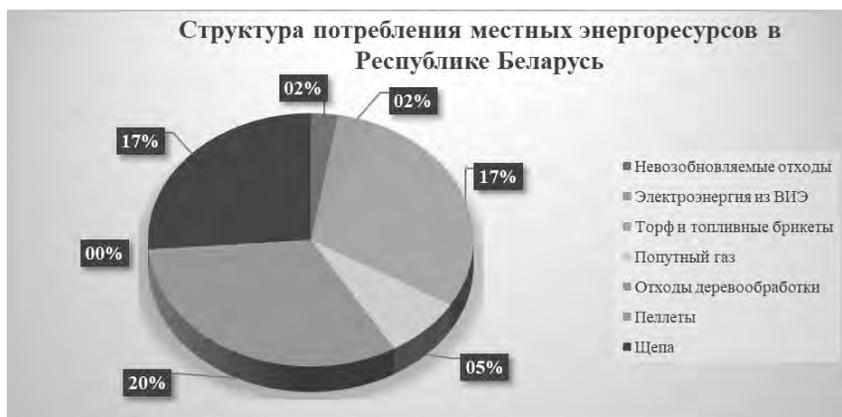
Доля местных видов топлива от общего объема энергоисточников в 2023 г. составила 17,4 %, что на 3,2 п.п. больше по сравнению с 2015 г.

На рис. 2 представлена структура потребления местных энергоресурсов за 2023 г. в Республике Беларусь.

с изм. и доп. от 27 февр. 2024 г., № 130 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2021. – 5/49733.

<sup>41</sup> Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 февр. 2021 г. № 103 : в ред. от 28 дек. 2023 г., № 958 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2021. – 5/48822.

<sup>42</sup> Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – URL: <https://energoeffect.gov.by/> (дата обращения: 28.10.2024).



**Рисунок 2. Структура потребления местных энергоресурсов [2]**

В структуре местных видов топлива значительную долю составляют дрова – 36,3 %. Большой объем также у отходов деревообработки – 20,2 %. Наименьшую долю в структуре энергоресурсов составляют пеллеты.

По состоянию на январь 2024 г. в Республике Беларусь насчитывалось 487 котельных, работающих на пеллетах. Их годовой объем потребления составляет 23,9 тыс. тонн. К концу 2024 г. планируется увеличить объем потребления до 50,1 тыс. тонн. Однако при реализации Комплекса мер по увеличению использования древесных топливных гранул (пеллет) до 2026 г. потребление пеллет планируется увеличить до более 200 тыс. тонн [2].

Одним из существенных барьеров в развитии системы управления древесными отходами является сложность обеспечения устойчивого финансирования и отсутствие экономических стимулов к его развитию. Для определения плановых показателей проектов и программ целесообразно учитывать объем и структуру образования отходов в отдельных регионах Республики Беларусь, потенциальный спрос на вторичные материалы и энергию, климатические и сезонные факторы, доступность и качество природных ресурсов [3].

Основными мерами по повышению объемов потребления пеллет в Республике Беларусь планируется достичь за счет:

- использования древесных топливных гранул (пеллет) на предприятиях различных секторов экономики;
- перевода котельных организаций и частного жилищного сектора на использование в качестве топлива древесных топливных гранул (пеллет);
- модернизации энергетических источников ГПО «Белэнерго» с установкой новых котлов на древесных топливных гранулах (пеллетах)<sup>43</sup>.

Таким образом, эффективность системы обращения с древесными отходами предполагает:

- снижение экологических последствий и повышение надежности энергетики для усовершенствования технологий и эффективного управления отходами;
- стратегическое планирование, инвестиции и исследования, необходимые для преодоления барьеров в биоэнергетике;

<sup>43</sup> Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-3: с изм. и доп. от 13 июля 2016 г., № 397-3 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2016. – 2/2395.

– развитие глобального сотрудничества в области «зеленой» экономики и энергетической безопасности.

Биоэнергетика может играть уникальную роль, которую не могут выполнять другие возобновляемые источники энергии, например, балансируя неустойчивость, обеспечивая топливом сектора экономики, которые трудно декарбонизировать.

Таким образом, исследование биоэнергетических систем в Республике Беларусь имеет особое практическое значение. Во-первых, национальная экономика и политика должны обеспечить безопасность и устойчивость поставок биотоплива на всех уровнях производства и потребления. Во-вторых, необходимость усиления устойчивости биоэнергетики предполагает расширение критериев выбросов парниковых газов и использования биомассы.

### Источники

1. Зорина, Т. Г. Устойчивое энергетическое развитие как основной драйвер трансформации энергетики Республики Беларусь / Т. Г. Зорина // Устойчивое развитие энергетики Республики Беларусь: состояние и перспективы : сб. докл. II Междунар. науч. конф. (Минск, 3–6 окт. 2022 г.) / под ред. Т. Г. Зориной. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 461 с.

Zorina, T. G. Sustainable energy development as the main driver of energy transformation of the Republic of Belarus / T. G. Zorina // Sustainable energy development of the Republic of Belarus: state and prospects : collection. report II Int. scientific conf. (Minsk, October 3–6, 2022) / ed. T. G. Zorina. – Minsk : Belarusian Science, 2023. – 461 p.

2. Пархомчик, П. Пеллеты будут с нами, примите это! / П. Пархомчик // Лесное и охотничье хозяйство. – 2024. – № 5 (250). – С. 3–5.

Parkhomchik, P. Pellets will be with us, accept it! / P Parkhomchik // Forestry and hunting. – 2024. – № 5 (250). – P. 3–5.

3. Смольская, Н. А. Система управления древесными отходами в Беларуси: принципы функционирования и направления совершенствования / Н. А. Смольская, М. А. Резанович // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2023. – № 4. – С. 84–91.

Smolskaya, N. A. Wood waste management system in Belarus: principles of functioning and directions for improvement / N. A. Smolskaya, M. A. Rezanovich // Bulletin of the Belarusian State Economic University. – 2023. – № 4. – P. 84–91.

*Статья поступила в редакцию 25.11.2024.*

УДК 339.727.22

**M. Solomko**

*Master of economics*

*The Institute of Economics of the NASB*

*(Minsk)*

### CHINESE EXPERIENCE IN ACHIEVING SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL AUTONOMY

*Innovative potential is a key aspect of a country's competitiveness. China is a clear example of a successful transformation from a country at a late stage of industrialization to one of the most*