

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-5-418-427>

УДК 620.97

О целесообразности строительства мини-ТЭЦ на местных видах топлива в условиях Республики Беларусь

Часть 1

Состояние использования местных видов топлива в системах теплоснабжения

Докт. техн. наук, проф. В. А. Седнин¹⁾, асп. Р. С. Игнатович¹⁾, И. Л. Иокова¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. В рамках обеспечения энергетической безопасности страны и проведения политики декарбонизации экономики в Республике Беларусь предполагается максимальное использование собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Однако открытым остается вопрос выбора вида теплоисточника в системах централизованного теплоснабжения при использовании местных видов топлива (МВТ). Ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС и относительно высокая удельная стоимость электрогенерирующих мощностей на МВТ склоняет чашу весов к применению в качестве теплоисточников котельных. Однако мировой опыт развития и применения теплофикации, как наиболее энергоэффективного решения в области теплоснабжения, требует более тщательного исследования данной проблемы. В статье представлен обзор по применению МВТ в Беларуси и ряде европейских стран с развитым централизованным теплоснабжением, а также на основе анализа данных открытых источников представлена информация по состоянию применения МВТ в системах централизованного теплоснабжения Республики Беларусь и ряда европейских стран, имеющих опыт в широком использовании твердой биомассы и где она составляет существенную долю в структуре выработки тепловой и электрической энергии по отношению к другим ТЭР. Приведены основные аспекты энергетических программ ряда европейских стран с наибольшей долей выработки тепловой и электрической энергии на МВТ. Выявлено, что наибольший интерес для Беларуси представляет энергетическая программа Финляндии, где доля атомной энергии в структуре выработки электрической энергии так же, как и в Республике Беларусь, приближается к 40 % и энергетическая стратегия предполагает увеличение доли ТЭЦ на МВТ в структуре выработки тепловой и электрической энергии.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, возобновляемые источники энергии, декарбонизация, местные виды топлива, мини-ТЭЦ, топливно-энергетические ресурсы, энергетическая система, эффективность

Для цитирования: Седнин, В. А. О целесообразности строительства мини-ТЭЦ на местных видах топлива в условиях Республики Беларусь. Ч. 1: Состояние использования местных видов топлива в системах теплоснабжения / В. А. Седнин, Р. С. Игнатович, И. Л. Иокова // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 5. С. 418–427. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-5-418-427>

On the Feasibility of Building Mini-Thermal Power Plant Using Local Fuels in the Conditions of the Republic of Belarus

Part 1

State of Use of Local Fuels in Heat Supply Systems

V. A. Sednin¹⁾, R. S. Ignatovich¹⁾, I. L. Iokova¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. As part of ensuring the country's energy security and pursuing a policy of decarbonization of the economy in the Republic of Belarus, the maximum use of its own fuel and energy resources (FER) is expected. However, the question

Адрес для переписки

Седнин Владимир Александрович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-16
sednin@bntu.by

Address for correspondence

Sednin Vladimir A.
Belarusian National Technical University
65/2, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-16
sednin@bntu.by

of choosing the type of heat source in centralized heat supply systems when using local fuels (LF) remains open. The commissioning of the Belarusian Nuclear Power Plant and the relatively high specific cost of electricity generating capacities using local fuels tip the scales to the use of boiler houses as heat sources. However, world experience in the development and application of heating, as the most energy-efficient solution in the field of heat supply, requires a more thorough study of this problem. The paper presents an overview of the use of local fuels in Belarus and a number of European countries with developed centralized heat supply. Based on the analysis of open source data, the paper provides information on the state of use of local fuels in district heating systems of the Republic of Belarus and a number of European countries that have experience in the widespread use of solid biomass and where it constitutes a significant share in the structure of thermal and electrical energy production in relation to other fuel and energy resources. The main aspects of the energy programs of a number of European countries with the largest share of thermal and electrical energy generation using local fuels are presented. It has been revealed that the energy program of Finland is of the greatest interest for Belarus, where the share of nuclear energy in the structure of electrical energy production, just like in the Republic of Belarus, is approaching to 40 % and the energy strategy assumes an increase in the share of thermal power plants using local fuels in the structure of heat and electricity generation.

Keywords: energy security, renewable energy sources, decarbonization, local fuels, mini-thermal power plants, fuel and energy resources, energy system, efficiency

For citation: Sednin V. A., Ignatovich R. S., Iokova I. L. (2023) On the Feasibility of Building Mini-Thermal Power Plant Using Local Fuels in the Conditions of the Republic of Belarus. Part 1: State of Use of Local Fuels in Heat Supply Systems. *Science and Technique*. 22 (5), 418–427. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-5-418-427> (in Russian)

Введение

Согласно утвержденной Советом Министров Республики Беларусь концепции энергетической безопасности от 23 декабря 2015 г. [1], в качестве первого принципа обеспечения энергетической безопасности страны определена максимальная реализация потенциала местных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а использование местных видов топлива (МВТ) отнесено к основным направлениям развития топливно-энергетического комплекса страны в долгосрочной перспективе. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. [2] и «Программа комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 гг.» [3] предполагают увеличение к 2026 г. доли местных ТЭР в валовом потреблении ТЭР не менее чем на 16,1 % (без учета атомной энергии) и не менее 2,4 % в котельно-печном топливе на объектах организаций ГПО «Белэнерго». В качестве основного направления в вышеупомянутой государственной программе первым пунктом выделено создание энергоисточников, использующих местные ТЭР: древесное и торфяное топливо, горючие отходы и попутный газ.

Ввод в эксплуатацию второго блока атомной электростанции (АЭС) позволит сократить долю природного газа в энергобалансе Республики Беларусь до 60 % [4], однако для достижения целей энергетической безопасности к 2035 г. удельный вес природного газа необходимо снизить до 50 % [1]. Достигнуть требуемой диверсификации ТЭР в энергетическом балансе предполагается путем внедрения меро-

приятий по повышению энергетической эффективности газовых ТЭЦ и КЭС, перехода от паросиловых установок (ПСУ) к более эффективным парогазовым установкам (ПГУ), а также увеличения доли местных ТЭР и, в частности, МВТ в структуре энергетического баланса. Увеличение доли местных ТЭР также соответствует концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. [5], согласно которой при разработке систем теплоснабжения, удаленных от системы централизованного теплоснабжения населенных пунктов и районов, а также в сельской местности необходимо производить оценку целесообразности использования МВТ.

Также стоит отметить, что развитие энергоисточников на МВТ соответствует целям мирового сообщества по декарбонизации экономики и сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу. В условиях Республики Беларусь это важно в связи не только с присоединением в 2015 г. к Парижскому климатическому соглашению [6], но и с тем, что темпы роста среднегодовой температуры в нашей стране выше среднего и превышают прогнозируемые [7]. За последнее десятилетие в Республике Беларусь был проведен комплекс мероприятий по повышению вовлеченности МВТ в структуру ТЭР: произведено формирование наиболее эффективных систем машин для обработки, транспортировки и хранения биомассы, достигнут существенный прогресс в решении задач оптимизации расположения складов и логистики доставки топлива [8], что, помимо прочего, способствует решению вопроса занятости

населения в регионах с торфяными и лесозаготовительными предприятиями, а также увеличению сферы движения рубля внутри экономического пространства страны.

Следовательно, в Республике Беларусь существует необходимость и предполагается дальнейшее увеличение доли теплоисточников, работающих на МВТ, в то же время открытым, а следовательно, актуальным для исследований, остается вопрос эффективности строительства и эксплуатации минитеплоэлектростанций (мини-ТЭЦ), работающих на МВТ, с учетом профицита электрогенерирующих мощностей в объединенной энергосистеме страны.

Основная часть

К традиционным МВТ в нашей стране относятся древесина и торф, доля которых на сегодняшний день в структуре возобновляемых источников энергии (ВИЭ) составляет около 97 % [2]. В первую очередь, это обусловлено тем, что 40 % территории Республики Беларусь занимают леса [9], а по запасам торфа страна занимает одиннадцатое [10] и вто-

рое [11] места в мире и СНГ соответственно, а также первое место в мире по объемам добычи торфа [12]. Помимо больших запасов в нашей стране, отличительным преимуществом использования биомассы в качестве топлива является простота и дешевизна ее хранения.

Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь за 2020 г. [13], собственное производство первичной энергии составляло только 17,1 %. Это позволяет говорить о том, что страна входит в двадцатку наиболее энергозависимых стран мира. В структуре производства первичной энергии из собственного топлива в 2020 г. 27 % занимала древесина, перерабатываемая в древесную щепу. Прочая биомасса составляла 15,7 %. На рис. 1 приведена структура выработки тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь в зависимости от вида ТЭР за 2020 г. Как говорилось ранее, ввод в эксплуатацию двух блоков АЭС суммарной мощностью 2,4 ГВт значительно изменяет с 2023 г. структуру выработки первичной энергии за счет снижения доли природного газа и нефтепродуктов.

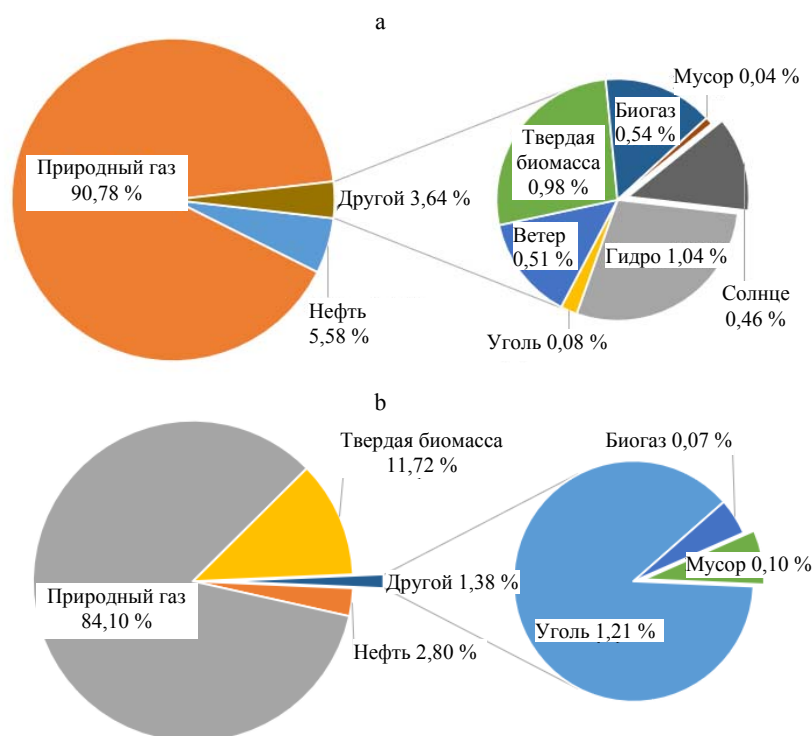


Рис. 1. Структура расходной части энергобаланса Республики Беларусь за 2020 г. по видам топлива при производстве энергии; а – электрической; б – тепловой

Fig. 1. Structure of the expenditure part of the energy balance of the Republic of Belarus for 2020 by fuel type in energy production; a – electrical; b – thermal

На рис. 2 приведены данные Международного энергетического агентства (МЭА) [14], показывающие трансформацию структуры производства тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь по видам топлива в период с 1990 по 2020 г.

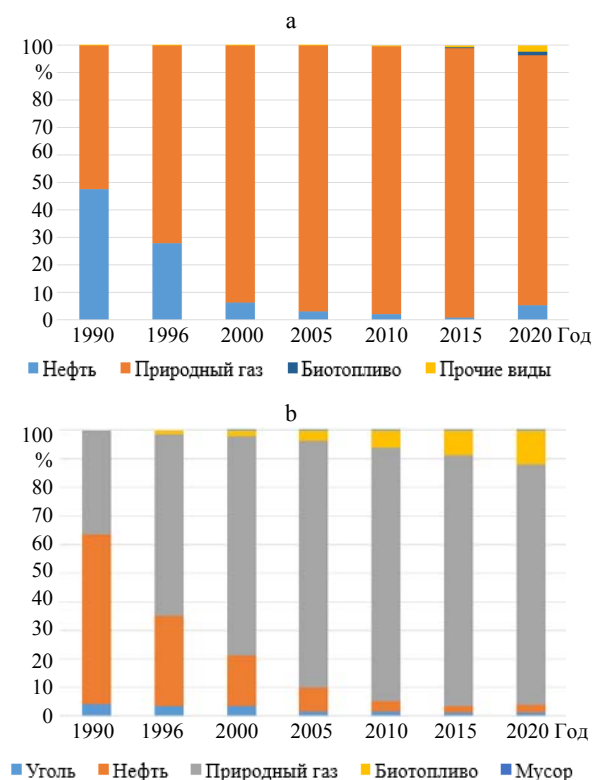


Рис. 2. Динамика структуры производства энергии в Республике Беларусь по видам топлива в период 1990–2020 гг.: а – электрической; б – тепловой

Fig. 2. Dynamics of energy production structure in the Republic of Belarus by fuel type in the period of 1990–2020: a – electrical; b – thermal

Следует отметить, что здесь и далее к биотопливу, помимо твердой биомассы из древесины и торфа, относятся биогаз и жидкое биотопливо. Согласно [2], по состоянию на 1 сентября 2020 г., суммарная электрическая мощность установок ВИЭ в Республике Беларусь составляла 491 МВт, из которых порядка 89 МВт вырабатывалось на 10 мини-ТЭЦ, использующих древесное топливо. Вместе с этим в отчете МЭА по энергетическому профилю Республики Беларусь [15] на декабрь 2018 г. показано, что всего в стране эксплуатировалось 22 мини-ТЭЦ, использующих местные ТЭР с установленной электри-

ческой мощностью 130 МВт и тепловой мощностью 345 МВт.

Из рис. 2 видно, что биотопливо в Республике Беларусь в основном используется для производства тепловой энергии. Для оценки целесообразности строительства в стране мини-ТЭЦ на МВт рассмотрим международный опыт. Для анализа выбраны государства, в которых либо имеются сопоставимые с Республикой Беларусь объемы твердой биомассы, либо она занимает значительную долю в структуре выработки тепловой и электрической энергии. Среди европейских стран площадь лесов, большую, чем в Беларуси, имеют Швеция и Финляндия [16], сопоставимые площади имеются в Германии, Украине, Польше и Норвегии, также интерес могут представлять Дания, Латвия, Эстония, Ирландия, Великобритания. На рис. 3 приведены тренды производства электрической и тепловой энергии из твердой биомассы для вышеперечисленных стран за период с 1990 по 2021 г. Статистическая информация, используемая при построении графиков, взята с сайта МЭА [14].

Анализируя данные, представленные на рис. 3, следует отметить рост выработки тепловой и электрической энергии из твердой биомассы за этот период, что, очевидно, требовало строительства новых генерирующих мощностей. При этом необходимо заметить, что доля выработки электрической энергии из твердой биомассы в общем объеме генерации также увеличивалась во всех странах, за исключением локального снижения к уровню 2020 г. для Эстонии в 2021 г., связанного с 40%-м ростом генерации из угля. Доля выработки электрической энергии из твердой биомассы в Эстонии за 2020 г. приблизилась к 30 %, в Дании за 2021 г. – к 22 %, в Финляндии – к 20 %, в Латвии – к 10 %. В свою очередь, доля выработки тепловой энергии из твердой биомассы за 2021 г. составила: в Эстонии – 67 %, в Латвии – 54, в Дании – 51, в Швеции – 46, в Финляндии – 44 %.

В контексте оценки целесообразности использования существующих и строительства новых комбинированных мини-ТЭЦ, использующих МВт, в Беларуси обратим внимание на страны, в которых наиболее высокая доля выработки из твердой биомассы как тепловой, так и электрической энергии: Эстонии, Финляндии, Дании.

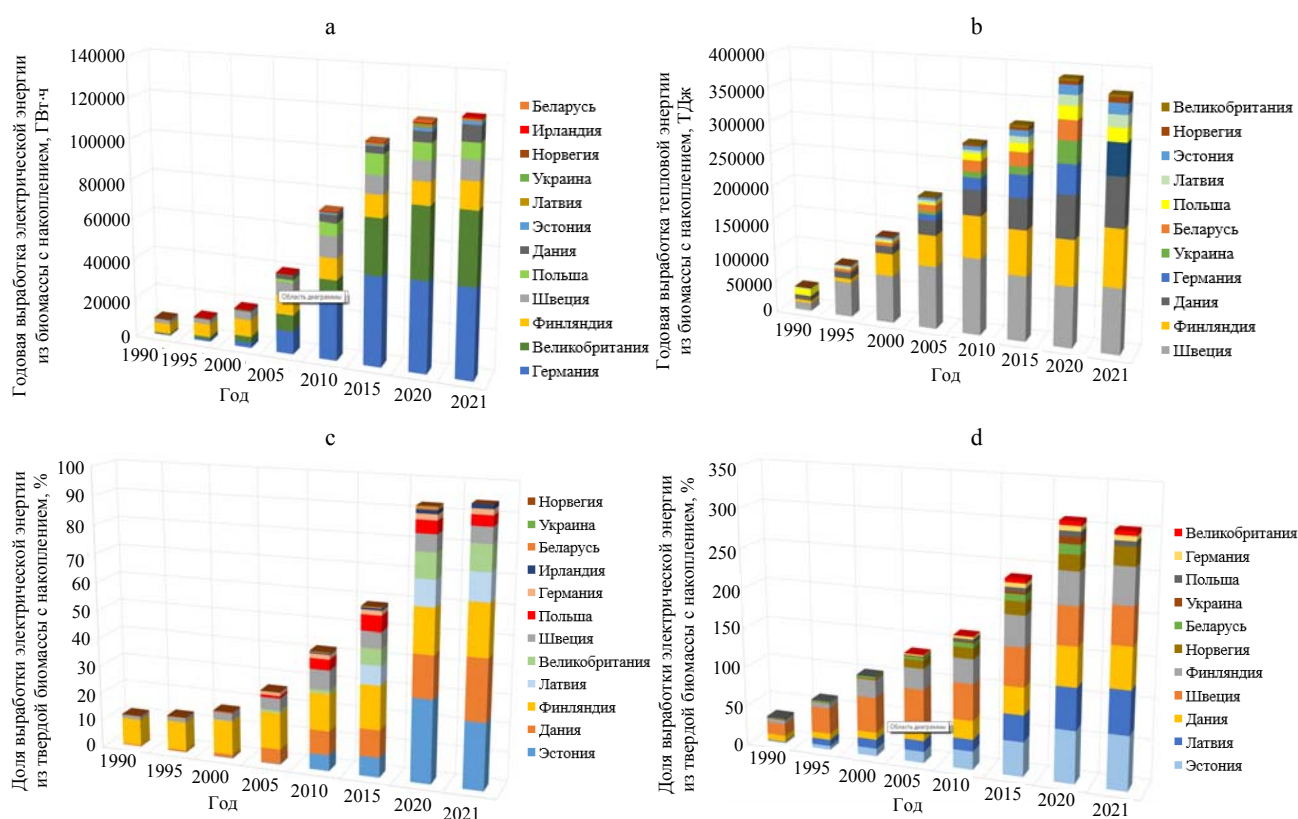


Рис. 3. Генерация энергии из твердой биомассы в ряде стран Европы в 1990–2021 гг.: a, b – трафики генерации из твердой биомассы соответственно электрической (ГВт·ч) и тепловой энергии (ТДж); c, d – трафики доли генерации из твердой биомассы в общем объеме производства соответственно электрической и тепловой энергии

Fig. 3. Energy generation from solid biomass in a number of European Countries in 1990–2021: a, b – generation traffic from solid biomass, respectively, of electrical (GW·h) and thermal energy (TJ); c, d – generation share traffic from solid biomass in the total production of electrical and thermal energy, respectively

В Эстонии на сегодняшний день ТЭЦ на биомассе играют важную роль в энергетической системе. На рис. 4 отражена динамика изменения структуры производства электрической и тепловой энергии в этой стране по различным видам топлива в 1990–2021 гг. Согласно национальной энергетической и климатической стратегии Эстонии в период до 2030 г. [17], для достижения целей по энергетической безопасности путем сохранения как можно более низкой степени зависимости от импортных энергоносителей предполагается максимальное использование потенциала МВТ.

Обозначенная стратегия предполагает строительство в 2020–2030 гг. новых комбинированных энергоисточников, не использующих ископаемое топливо, электрической мощностью порядка 25 МВт. Согласно государственному плану развития энергетической политики Эстонии [18] в 2030 г., 11 ТВт·ч от общей потребности в теплоте будет удовлетворяться за счет биомассы. При этом в качестве наиболее

важного вида топлива отмечается торф. По данным отчета МЭА по Эстонии [19], в 2017 г. 53 % всей биомассы для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии использовалось на ТЭЦ, 44 и 3 % соответственно – для производства только тепловой и только электрической энергии.

В [20] отмечается, что на сегодняшний день основные комбинированные энергоисточники на МВТ построены рядом с крупными потребителями тепловой энергии, однако указывается на значительный потенциал строительства мини-ТЭЦ на МВТ возле небольших населенных пунктов или в отраслях со стабильным потреблением теплоты, таким как целлюлозная и деревообрабатывающая промышленность. При этом отмечается, что основным сдерживающим фактором для использования мини-ТЭЦ являются их экономическая эффективность и, в частности, высокие капитальные затраты при их строительстве. Дополнительная мера стимулирования строительства новых ТЭЦ – отсут-

ствии необходимости выплат за выбросы CO₂, которые, как ожидается, в Европе будут непрерывно расти.

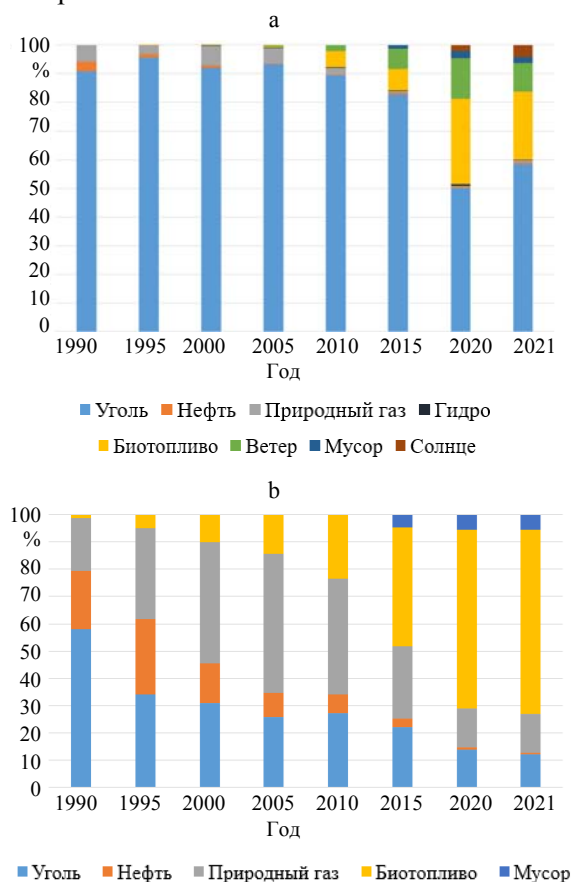


Рис. 4. Изменение структуры производства энергии в Эстонии по видам топлива в 1990–2021 гг.: а – электрической; б – тепловой

Fig. 4. Changes in the structure of energy production in Estonia by fuel type in the period of 1990–2021: a – electrical; b – thermal

Как говорилось ранее, комбинированная выработка тепловой и электрической энергии является наиболее эффективным способом получения энергии. Однако, как отмечается в [19], это создает некоторые сложности, так как предполагается работа на двух отдельно регулируемых рынках, а ТЭЦ в Эстонии предназначены, в первую очередь, для выработки тепловой энергии для систем централизованного теплоснабжения. Таким образом, традиционное при стимулировании использования возобновляемых источников энергии повышение тарифов на «зеленую» электрическую энергию в случае с ТЭЦ на биомассе может оказаться недостаточным. Один из возможных вариантов решения обозначенной проблемы заключается в интеграции в схему ТЭЦ аккумуляторов теплоты, что на примере Эстонии рассмотрено в работе [21].

Таким образом, можно сделать вывод, что Эстония стремится к сохранению высокой доли выработки тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, использующих МВТ, при этом проблемы, связанные с дороговизной таких энергоисточников, решаются путем дополнительного стимулирования инвестиций.

Финляндия декларирует амбициозные планы в части декарбонизации своей энергетической системы, а именно достижение полной углеродной нейтральности к 2035 г. [22]. На рис. 5 отражена динамика изменения структуры производства тепловой и электрической энергии в данном государстве по видам топлива в период 1990–2021 гг.

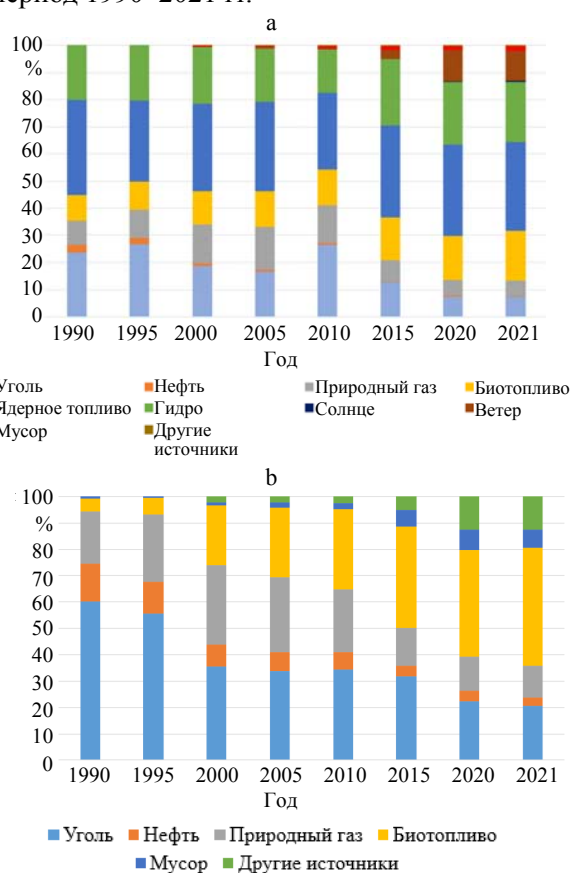


Рис. 5. Изменение структуры производства энергии в Финляндии по видам топлива в 1990–2021 гг.: а – электрической; б – тепловой

Fig. 5. Changes in the structure of energy production in Finland by fuel type in the period of 1990–2021: a – electrical; b – thermal

Из графиков очевидно, что основу энергетической системы страны на сегодняшний день составляют ядерная и возобновляемая энергетика. К последней, в первую очередь, относятся твердая биомасса, а также энергия ветра и гидроэнергетика.

Согласно отчету МЭА по энергетическому профилю Финляндии [23], в 2021 г. 27 % всей электрической и 60 % тепловой энергии для системы централизованного отопления этой страны вырабатывалось на ТЭЦ. При этом 29 % ТЭЦ страны работают на древесине, а 15 % – на торфе. Вместе с этим страна к 2029 г. планирует полностью отказаться от использования в своем энергетическом балансе угля, заменив его на древесную биомассу. В отчете неоднократно отмечается, что древесная биомасса в ближайшие годы будет играть важнейшую роль в достижении поставленных правительством целей декарбонизации. Сегодня важную роль в энергетическом секторе Финляндии играет торф, который занимает 2,7 % от общего потребления ТЭР и 2,9 % – в структуре выработки электрической энергии. Однако к 2030 г. планируется сокращение его использования минимум на 50 % и замещение на древесную биомассу, что будет способствовать сокращению выбросов CO₂ и уменьшит экологическое воздействие при его добыче.

Таким образом, Финляндия до конца десятилетия будет наращивать выработку тепловой и электрической энергии из твердой биомассы, в том числе посредством новых и адаптированных после использования торфа и угля мини-ТЭЦ. В качестве ключевых вопросов в энергетической отрасли страны выделяются ее декарбонизация, а также вопрос повышения энергетической эффективности. В результате этого наиболее эффективная комбинированная выработка энергии из биомассы, в случае включения ее в общую энергетическую сеть и систему централизованного отопления, будет дополнительно стимулироваться государством. Однако в долгосрочной перспективе в 2035–2050 гг. в стране планируется переход на бестопливные ВИЭ, в частности на ветровую энергетику.

Широкое распространение ТЭЦ, использующих в качестве топлива твердую биомассу в целом и древесину в частности, нашло в Дании. В отчете МЭА по энергетическому профилю Дании [24], отмечается, что страна декларировала цели по достижению 100 % независимости от ископаемых видов топлива и 100 % по выработке электрической энергии из возобновляемых источников энергии к 2050 г. На рис. 6 отражена динамика изменения структуры производства тепловой и электрической энергии в Дании по видам топлива в 1990–2021 гг.

Анализируя данные графики, можно сделать вывод, что основу выработки электрической энергии страны составляет ВИЭ, такие как вет-

ровая энергетика и биотопливо, и их доля в структуре производства электрической энергии непрерывно растет. Выработка тепловой энергии производится в большей мере посредством увеличения доли генерации из твердой биомассы и мусора.

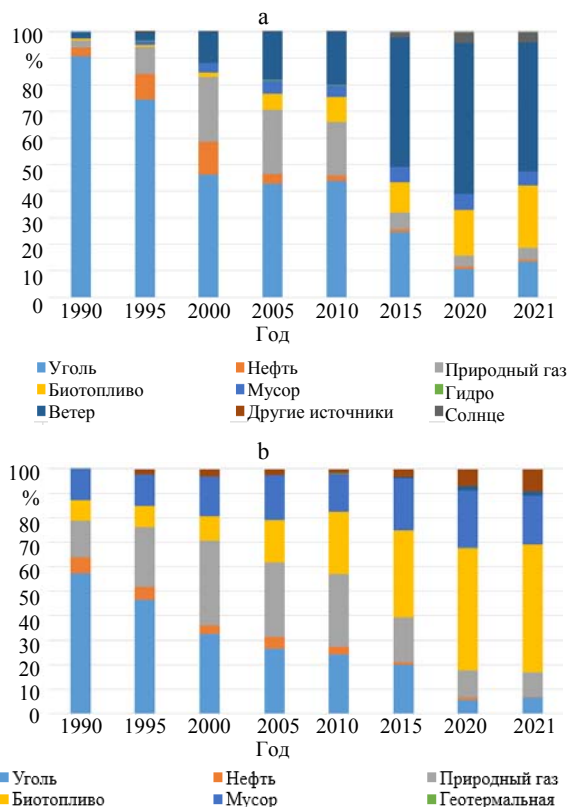


Рис. 6. Изменение структуры производства энергии в Дании по видам топлива в период 1990–2021 гг.: а – электрической; б – тепловой

Fig. 6. Changes in the structure of energy production in Denmark by fuel type in the period of 1990–2021: a – electrical; b – thermal

Согласно отчету энергетического агентства Дании за 2019 г. [25], как и Финляндия, Дания работает над переводом существующих ТЭЦ и КЭС, использующих в качестве топлива уголь, на твердую биомассу, в результате чего ее потребление в структуре ТЭР в краткосрочной перспективе будет расти. При этом для стимулирования сокращения угольной генерации предусмотрены дополнительные повышающие коэффициенты на покупку энергетической системой электрической энергии [26]. Согласно энергетической статистике за 2021 г., представленной энергетическим агентством Дании [27], 22 % электрической энергии и 33 % тепловой энергии страны вырабатывалось на ТЭЦ, использующих в качестве топлива биомассу. Всего в стране в 2021 г. работа-

ли 30 ТЭЦ на биомассе суммарной электрической мощностью 1836 МВт и суммарной тепловой мощностью 3362 МВт

В большинстве районов Дании, где функционируют системы централизованного теплоснабжения малой мощности, существующие нормативные правовые акты допускают новое строительство только комбинированных энергоисточников, которые, как предполагается, будут работать на биомассе [27]. Однако в соответствии с принятым в Дании в 2018 г. энергетическим соглашением, тарифы на продажу электрической энергии в энергосистему для новых комбинированных энергоисточников были снижены, а схема субсидирования их строительства заменена, в результате чего строительство нового производства электрической энергии из биомассы осуществляется только в том случае, если она сможет конкурировать с другими возобновляемыми технологиями [26, 27]. В отчете [27] отмечается также, что так как ТЭЦ на основе биомассы оцениваются как относительно дорогостоящие энергоисточники, а более половины используемой древесины импортируется из других стран, маловероятно что они смогут быть конкурентоспособными без дополнительной поддержки.

Таким образом, можно сделать вывод, что в краткосрочной перспективе в Дании ожидается рост использования биомассы на ТЭЦ в связи с отказом страны от угольной генерации при ее замещении на биомассу. Перспективы же строительства новой генерации на биотопливе в период до 2030 г. выглядят неоднозначными. В отчете МЭА [24] отмечается, что экономическая эффективность ТЭЦ на биомассе снижается с падением цены на электрическую энергию, так как предельные затраты на производство тепловой энергии при этом увеличиваются линейно. Целесообразность строительства новой генерации на биомассе будет зависеть от принятой в стране стратегии регулирования цен в секторе теплоснабжения. Однако и сокращения количества ТЭЦ на биомассе не ожидается ввиду сохранения для них субсидированных тарифов, а также возможности использования ТЭЦ для балансировки неравномерности выработки электрической энергии на ВИЭ, во многом вызванной непостоянством выработки ветровых электростанций.

Общим для энергосистем рассмотренных стран является то, что в условиях отсутствия значительных запасов нефти, природного газа, а также высокого потенциала для развития гидроэнергетики свое развитие в области тепло-

снабжения получила централизованная система теплоснабжения и теплофикация с генерацией энергии из твердой биомассы. В то же время рассмотренные страны отличаются своими возможностями по использованию солнечной и ветровой энергетики. Республика Беларусь из-за своего географического расположения не имеет значительного потенциала по использованию этих видов энергии. Следовательно, в рамках выбора возобновляемых видов энергии (солнечной, гидро-, ветровой, геотермальной и биомассы) наиболее перспективной является биомасса. И с этой точки зрения интересным для нас является опыт Финляндии, чья энергетическая стратегия подразумевает увеличение доли ТЭЦ на МВт. Во-первых, в данной стране доля ядерной энергии в структуре выработки электрической энергии в 2021 г. составляла 33 % и, как ожидается, вырастет до 40 % [23]. В Беларуси, как отмечалось ранее, планируется примерно такая же доля выработки электрической энергии на АЭС. Во-вторых, в Финляндии, так же как в Республике Беларусь, имеются большие запасы древесины, а также хорошо развитая деревообрабатывающая промышленность. Обе страны стремятся к сокращению доли природного газа в структуре ТЭР: Финляндия – для достижения поставленных целей по декарбонизации экономики, Республика Беларусь – в целях повышения энергетической безопасности и диверсификации структуры ТЭР.

ВЫВОДЫ

1. В статье на основе анализа открытых источников представлена информация по состоянию применения МВт в энергетике Республики Беларусь и ряда европейских стран, имеющих опыт в широком использовании твердой биомассы. Произведен краткий анализ структуры использования твердой биомассы как наиболее традиционного для Республики Беларусь МВт, а также для стран Европы, где ее запасы сопоставимыми с нашей страной либо где твердая биомасса составляет существенную долю в структуре выработки тепловой и электрической энергии по отношению к другим ТЭР. Показано, что ввиду стремления достижения в экономике Республики Беларуси требуемой диверсификации потребляемых топливно-энергетических ресурсов уделяется должное внимание расширению объемов использования местных видов топлива, что в целом соответствует государственной политике страны в рамках развития

энергетики до 2030 г., но МВт в основном используются для производства тепловой энергии.

2. На основе анализа энергетических программ европейских стран с наибольшей долей выработки тепловой и электрической энергии из биотоплива выявлено, что наиболее близкой к Республике Беларусь является энергетическая программа Финляндии, где доля атомной энергии в структуре выработки электрической энергии, так же как в Республике Беларусь, приближается к 40 %. Энергетическая стратегия данной страны предполагает увеличение доли ТЭЦ на МВт в структуре выработки тепловой и электрической энергии. Установлено, что необходима более глубокая проработка вопроса целесообразности развития теплофикации в Республике Беларусь на МВт, в том числе с учетом современных тенденций развития энергетики в рамках цифровизации и мультиэнергетических систем.

Данная работа частично выполнена в рамках совместного научного проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Министерства инновационного развития Республики Узбекистан «БРФФИ–МИРРУ-2022» (Договор Т22УЗБ-052).

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении концепции энергетической безопасности Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 дек. 2015 г., № 1084. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2015. № 5/41477.
2. О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 фев. 2021 г., № 103 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>.
3. Программа комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Министерства энергетики Респ. Беларусь, 05 апр. 2021 г. № 19. Режим доступа: <https://energodoc.by/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/8720.pdf>.
4. Виктор Каранкевич: «С вводом АЭС доля природного газа в энергобалансе Беларуси снизится до 60 %» [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Республики Беларусь. 2022. Режим доступа: https://minenergo.gov.by/press/glavnye-novosti/viktor-karankevich-svvodom-aes-dolya-prirodnogo-gaza-v-energobalanse-belarusi-snizitsya-do-60-/?sphrase_id=52175. Дата доступа: 01.06.2023.
5. Об одобрении Концепции энергетического развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Министерства энергетики Респ. Беларусь, 25 фев. 2020 г., № 7. Режим доступа: Консультант Плюс: Республика Беларусь. Минск, 2020.
6. Парижское климатическое соглашение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/paris-ru/>. Дата доступа: 10.06.2023.
7. Иванов, Д. Л. Экстремально высокие темпы роста температуры воздуха как характерная черта и особенность климата территории Беларуси в условиях глобального потепления / Д. Л. Иванов, Е. А. Ивашко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках. Минск: БГУ, 2021. С. 329–332.
8. Войтов, И. В. Современное состояние и перспективы использования древесного топлива в Республике Беларусь / И. В. Войтов, А. В. Ледницкий // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 9–14.
9. Лесной фонд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mlh.by/our-main-activities/forestry/forests/>. Дата доступа: 18.05.2023.
10. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. Минск: Беларус. навука, 2009. 328 с.
11. Короткая, А. И. Проблемы рационального использования природных ресурсов в Республике Беларусь / А. И. Короткая, Т. А. Тимофеева // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3, № 2 (10). С. 52–60.
12. Энергетика в цифрах [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Респ. Беларусь. Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/press/energetika-v-tsifrah/>. Дата доступа: 20.05.2023.
13. Энергетический баланс Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. к-т Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведова (предис.) [и др]. Минск, 2021. 147 с.
14. Energy Statistics Data Browser [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Date of access: 20.06.2023.
15. Belarus energy profile [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/reports/belarus-energy-profile>. Date of access: 20.05.2023.
16. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / Монография / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.
17. Estonia's 2030 National Energy and Climate Plan (NECP 2030) [Electronic Resource]. Mode of access: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/ee_final_necp_main_en.pdf. Date of access: 04.07.2023.
18. Energy Sector Development Plan [Electronic Resource]. 2023. Mode of access: <https://www.mkm.ee/en/energy-sector-and-mineral-resources/energy-economy/energy-sector-development-plan>. Date of access: 04.07.2023.
19. Energy Policies of IEA Countries: Estonia 2019 Review [Electronic Resource]. Mode of access: https://iea.blob.core.windows.net/assets/21965e0d-c9a9-4617-b1ad-5b4539d91ad7/Estonia_2019_Review.pdf. Date of access: 04.07.2023.
20. National Development Plan of the Energy Sector Until 2030 [Electronic Resource]. Tallinn, 2017. Mode of access: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/est199996.pdf>. Date of access: 04.07.2023.
21. Volkova, A. Heat Storage Combined with Biomass CHP under the National Support Policy a Case Study of Estonia / A. Volkova, E. Latosov, A. Siirde // Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti. 2020. T. 24. № 1. С. 171–184.
22. Carbon neutral Finland 2035 – National Climate and Energy Strategy [Electronic Resource] / Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. Helsinki, 2022. Mode of access: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164323/TEM_2022_55.pdf. Date of access: 07.07.2023.
23. IEA. Finland 2023. Energy Policy Review [Electronic Resource]. Mode of access: https://iea.blob.core.windows.net/assets/c77be693-2bb3-486c-8fbc-e33b0624bc7a/Finland_2023-EnergyPolicyReview.pdf. Date of access: 07.07.2023.
24. IEA. Energy Policies of IEA Countries: Denmark 2017 Review [Electronic Resource]. Mode of access:

<https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/energypoliciesofieacountriesdenmark2017review.pdf> Date of access: 09.07.2023.

25. Denmark's Energy and Climate Outlook [Electronic Resource]. Mode of access: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/deco19.pdf>. Date of access: 10.07.2023.
 26. Biomass Analysis [Electronic Resource]. 2020. Mode of access: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse_final_ren_eng.pdf. Date of access: 10.07.2023.
 27. Data, Tables, Statistics and Maps. Energy Statistics 2021 [Electronic Resource]. Mode of access: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_statistics_2021.pdf. Date of access: 10.07.2023.
- Поступила 20.06.2023
Подписана в печать 25.08.2023
Опубликована онлайн 29.09.2023
- #### REFERENCES
1. On Approval of the Concept of Energy Security of the Republic of Belarus: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, December 23, 2015, No 1084. *National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus*, 2015, No. 5/41477 (in Russian).
 2. About the State Program "Energy Saving" for 2021–2025: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, February 24, 2021, No. 103. *National legal Internet portal of the Republic of Belarus*. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103> (in Russian).
 3. *Program for the Comprehensive Modernization of Energy Sector Production for 2021–2025*: Resolution of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus, April 05, 2021, No 19, 2021. Available at: <https://energodoc.by/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/8720.pdf>.
 4. Victor Karankevich: "With the commissioning of the Nuclear Power Plant the Share of Natural Gas in the Energy Balance of Belarus will Decrease to 60 %". *Ministry of Energy of the Republic of Belarus*. Available at: https://minenergo.gov.by/press/glavnye-novosti/viktor-karankevich-svodom-aes-dolya-prirodnogo-gaza-v-energobalanse-belarusi-snizitsya-do-60-/?sphrase_id=52175 (accessed 01 June 2023) (in Russian).
 5. On Approval of the Concept of Energy Development of Electricity Generating Capacities and Electrical Networks for the Period Until 2030: Resolution of the Ministry of Energy, February 25, 2020, No. 7. *Consultant Plus: Republic of Belarus*, 2020 (in Russian).
 6. *Paris Climate Agreement*. Available at: <https://minpriroda.gov.by/ru/paris-ru/> (accessed 10 June 2023) (in Russian).
 7. Ivanov D. L., Ivashko E. A. (2021) Extremely High Growth Rates of air Temperature as a Characteristic Feature and Peculiarity of the Climate of the Territory of Belarus in the Context of Global Warming. *Razvitie Geograficheskikh Issledovaniy v Belarusi v XX–XXI Vekakh* [Development of Geographical Research in Belarus in the 20th–21st Centuries]. Minsk, Belarusian State University, 329–332 (in Russian).
 8. Voytov I. V., Lednitsky A. V. (2017) Current State and Prospects for the Use of Wood Fuel in the Republic of Belarus. *Lesozagotovitel'noe Proizvodstvo: Problemy i Resheniya: Materialy Mezhdunarodnoi Nauch.-Tekhn. Konf., Minsk, 26–28 aprelya 2017* [Logging Production: Problems and Solutions: Proceedings of International Scientific and Technical Conference, Minsk, April 26–28, 2017]. Minsk, Belarusian State Technological University, 9–14 (in Russian).
 9. *Forest Fund*. Available at: <https://mlh.by/our-main-activities/forestry/forests/> (accessed 18 May 2023) (in Russian).
 10. Tomson A. E., Naumova G. V. (2009) *Peat and Products of its Processing*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 328 (in Russian).
 11. Korotkaya A. I., Timofeeva T. A. (2018) Problems of Rational use of Natural Resources in the Republic of Belarus. *XXI Vek. Tekhnosfernaya Bezopasnost = Technosphere Safety*. XXI Century, 3 (2), 52–60 (in Russian).
 12. *Energy in Numbers. Ministry of Energy of the Republic of Belarus*. Available at: <https://minenergo.gov.by/press/energetika-v-tsifrakh/>. (accessed 20 May 2023) (in Russian).
 13. National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2021) *Energy Balance of the Republic of Belarus: Statistical Collection*. Minsk. 147 (in Russian).
 14. *Energy Statistics Data Browser. IEA*. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser> (accessed 20 June 2023).
 15. *Belarus Energy Profile. IEA*. Available at: <https://www.iea.org/reports/belarus-energy-profile> (accessed 20 May 2023).
 16. Fedorenchik A. S., Lednitsky A. V. (2010) *Energy Use of Low-Quality Wood and Wood Waste*. Minsk, Belarusian State Technological University. 446 (in Russian).
 17. *Estonia's 2030 National Energy and Climate Plan (NECP 2030)* Available at: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/ee_final_necp_main_en.pdf (accessed 04 July 2023).
 18. *Energy Sector Development Plan. 2023*. Available at: <https://www.mkm.ee/en/energy-sector-and-mineral-resources/energy-economy/energy-sector-development-plan> (accessed 04 July 2023).
 19. *Energy Policies of IEA Countries: Estonia 2019 Review*. Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/21965e0d-c9a9-4617-b1ad-5b4539d91ad7/Estonia_2019_Review.pdf (accessed 04 July 2023).
 20. *National Development Plan of the Energy Sector Until 2030*. Tallinn, 2017. Available at: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/est199996.pdf> (accessed 04 July 2023).
 21. Volkova A., Latosov E., Siirde A. (2020) Heat Storage Combined with Biomass CHP under the National Support Policy a Case Study of Estonia. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 24 (1), 171–184.
 22. Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. Helsinki (2022) *Carbon Neutral Finland 2035 – National Climate and Energy Strategy*. Available at: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164323/TEM_2022_55.pdf (accessed 07 July 2023).
 23. *IEA. Finland 2023. Energy Policy Review*. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c77be693-2bb3-486c-8fbc-e33b0624bc7a/Finland2023-EnergyPolicyReview.pdf> (accessed 07 July 2023).
 24. *IEA. Energy Policies of IEA Countries: Denmark 2017 Review*. Available at: <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/energypoliciesofieacountriesdenmark2017review.pdf> (accessed 10 July 2023).
 25. *Denmark's Energy and Climate Outlook*. Available at: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/deco19.pdf> (accessed 10 July 2023).
 26. *Biomass Analysis*. 2020. Available at: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse_final_ren_eng.pdf (accessed 10 July 2023).
 27. *Data, Tables, Statistics and Maps. Energy Statistics 2021*. Available at: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_statistics_2021.pdf (accessed 10 July 2023).

Received: 20.06.2023

Accepted: 25.08.2023

Published online: 29.09.2023