

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.14.02 Электрические станции и электроэнергетические системы

УДК 620.952

DOI 10.37493/2307-907X.2022.2.1

Шульган Владимир Игоревич, Харитонов Максим Сергеевич**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ГЕНЕРАЦИИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДАХ
В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Современные тенденции развития европейской энергетики, в частности возможный переход прибалтийских государств в европейское синхронное энергообъединение, создают предпосылки для повышения энергетической независимости Калининградской области. Обеспечение энергобезопасности изолированных систем достигается за счет комплекса решений, включающих использование местных возобновляемых ресурсов, в частности биомассы. В статье рассмотрены вопросы использования древесной биомассы для развития распределенной генерации на территории Калининградской области. Дана оценка объемов производства древесных отходов региональной лесной промышленностью. Определены потенциальные места размещения объектов распределенной генерации с учетом расположения центров питания и величины электрических и тепловых нагрузок.

Ключевые слова: биоэнергетика, распределенная энергетика, твердые древесные отходы, электроэнергетика, технология переработки, потенциал биомассы.

Vladimir Shulgan, Maxim Kharitonov**PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED GENERATION BASED
ON WOOD WASTE IN THE KALININGRAD REGION**

Current trends in the development of European power sector, in particular the possible transition of the Baltic states to the European synchronous power system, create prerequisites for increasing the energy independence of the Kaliningrad region. Ensuring the energy security of isolated systems is achieved through a set of measures that include the use of local renewable resources, in particular biomass. The paper deals with the use of wood biomass for the development of distributed generation in the Kaliningrad region. An estimation of solid wood waste production by the regional forest industry is given. Potential locations for distributed generation facilities are determined, taking into account the location of power consumers and electrical and heat loads.

Key words: bioenergy, distributed generation, solid wood waste, electric power, processing technology, biomass potential.

Введение / Introduction. В процессе лесозаготовки только 60–80 % объема древесины используется на следующей стадии деревообработки, а оставшиеся 20–40 % в виде коры, древесной пыли, стружки, ветвей, опилок, реек сжигаются или складываются. Проблема утилизации отходов лесозаготовки актуальна для всех предприятий, которые осуществляют лесодобычу. Древесные отходы также образуются на последующих стадиях лесопиления и обработки древесины, а их количество зависит от типа предприятия.

Среди существующих решений проблемы утилизации древесных отходов, образующихся на предприятиях лесопромышленного комплекса, целесообразно рассмотреть сооружение мини-ТЭЦ, использующей древесную биомассу в качестве топлива. При использовании современных технологий мини-ТЭЦ позволяет обеспечить электро- и теплоснабжение предприятия и

близлежащих территорий по принципу распределенной генерации, обеспечивая снижение потерь на передачу электроэнергии в удаленные населенные пункты. Помимо этого, использование принципа когенерации позволит частично заместить наименее эффективные и устаревшие котельные новыми объектами генерации.

Важнейшим аспектом проектирования систем распределенной генерации является выбор мест сооружения электростанций. В статье рассмотрен комплексный подход к анализу возможных мест расположения объектов генерации и выбраны наиболее подходящие из них для дальнейшей проработки. Результаты проведенных исследований являются актуальными в соответствии с Энергетической стратегией России в контексте развития распределенной генерации и создания условий для расширения производства электрической энергии на основе возобновляемых источников [1].

Материалы и методы / Materials and methods. Локальные системы распределённой генерации представляют собой децентрализованные, подключенные к сети или внесетевые энергетические системы, расположенные в непосредственной близости к месту использования электрической энергии. Распределенные энергосистемы, как правило, имеют мощность менее 20 МВт [2].

Поскольку объекты распределенной генерации размещаются вблизи нагрузок, то системы данного типа позволяют избежать некоторых недостатков крупных централизованных систем производства и распределения энергии, таких как потери при передаче по длинным электрическим линиям и тепловым трассам.

Образующиеся в населенном пункте или на предприятии древесные отходы могут быть использованы в качестве топлива для снабжения электрической и тепловой энергией местных потребителей. Такой подход решает одну из главных проблем использования древесных отходов в качестве топлива – необходимость их транспортировки на большие расстояния. На рисунке 1 показаны преимущества использования принципа когенерации, который может быть осуществлен при расположении ТЭЦ в районе потребителей тепловой энергии [2]. Анализ данных рисунка свидетельствует о существенном сокращении потребления первичного энергоресурса в системе распределенной генерации при заданных объемах поставок электрической и тепловой энергии потребителю.

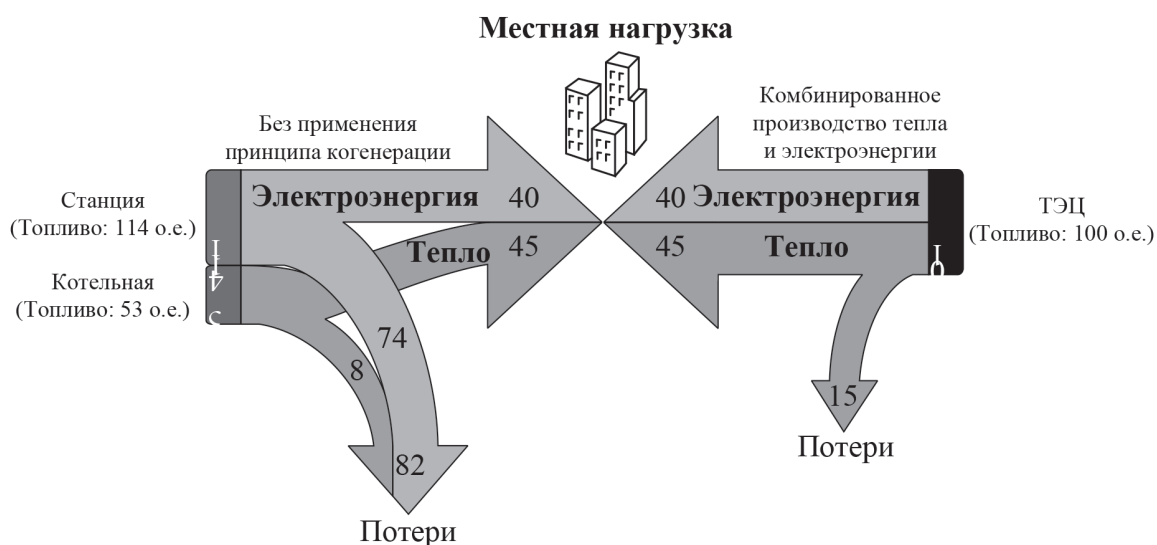


Рис. 1. Сравнение эффективности вариантов электро- и теплоснабжения местной нагрузки: слева рассматривается классическая газотурбинная электростанция; справа – газопоршневая ТЭЦ

Выбор места расположения объектов распределенной генерации выполняется на основе анализа энергопотребления ближайших к источнику древесных отходов населенных пунктов и предприятий. Величину нагрузки населенных пунктов возможно оценить по нагрузке силовых трансформаторов соответствующих центров питания 110 кВ. Преимущества системы распределенной генерации в полной мере раскрываются с удалением потребителя от существующих крупных электростанций, поэтому потребители, находящиеся вблизи таких объектов генерации, при выборе места сооружения не рассматриваются. Предприятия, подключенные к сетям среднего напряжения соответствующих населенных пунктов, также не рассматриваются, так как учитываются при оценке нагрузки центров питания.

Анализ крупных промышленных потребителей в Калининградской области выявил отсутствие на территории региона предприятий, расположенных вблизи мест образования древесных отходов и вдали от традиционных источников энергии [3].

Карта лесничеств региона с нанесением мест нахождения подстанций 110 и 330 кВ, а также электростанций представлена на рисунке 2 [3, 4]. Из рассматриваемых вариантов исключаются подстанции, находящиеся вблизи существующих источников энергии или вне районов интенсивного образования древесных отходов. По результатам анализа исходной информации к дальнейшему рассмотрению принят ряд подстанций (рисунок 3), расположенных вблизи мест образования древесных отходов (таблица 1).



Рис. 2. Карта лесничеств с отображением подстанций и электростанций

Таблица 1

Оценка количества отходов в местах сооружения объектов распределенной генерации

Подстанция	Лесничества в зоне	Доля лесничеств в зоне, %	Объем древесных отходов, тыс. м ³
ПС О-40 Чистые пруды	Нестеровское	90	15,12
ПС О-22 Краснознаменск	Краснознаменское	98	16,46
ПС О-23 Охотное	Славское, Полесское	55 5	5,19

Подстанция	Лесничества в зоне	Доля лесничеств в зоне, %	Объем древесных отходов, тыс. м ³
ПС О-25 Вишневка	Славское	40	3,32
ПС О-19 Полесск	Полесское, Гвардейское	90 30	13,62
ПС Черняховск	Черняховское	35	4,52
ПС О-50 Междуречье	Черняховское, Железнодорожное, Гвардейское	35 25 25	9,44
ПС О-41 Железнодорожная	Железнодорожное	40	4,6
ПС О-13 Енино	Багратионовское	30	0,99
ПС О-9 Светлогорск	Калининградское	18	1,17
ПС Храброво	Калининградское	30	1,95
ПС О-43 Ушаковская	Гвардейское, Калининградское	25 15	3,03



Рис. 3. Рассматриваемые места сооружения объектов распределенной генерации и предполагаемые зоны сбора древесных отходов

Анализ данных таблицы позволяет выявить центры питания в районах с наибольшими объемами образования древесных отходов: ПС О-40 «Чистые пруды», ПС О-22 «Краснознаменск», ПС О-19 «Полесск» и ПС О-50 «Междуречье». Уточненные зоны сбора отходов для указанных центров питания приведены на рисунке 4. Данные по объемам производства древесных отходов в границах уточненных зон приведены в таблице 2.

Таблица 2

Уточненное количество отходов в местах сооружения объектов распределенной генерации

Подстанция	Лесничества в зоне	Доля лесничеств в зоне, %	Объем древесных отходов, тыс. м ³
ПС О-40 Чистые пруды	Нестеровское	90	15,12
ПС О-22 Краснознаменск	Краснознаменское	98	16,46

Подстанция	Лесничества в зоне	Доля лесничеств в зоне, %	Объем древесных отходов, тыс. м ³
ПС О-19 Полесск	Полесское, Гвардейское, Славское	100 55 30	19,4
ПС О-50 Междуречье	Черняховское, Железнодорожное, Гвардейское	60 25 35	13,49

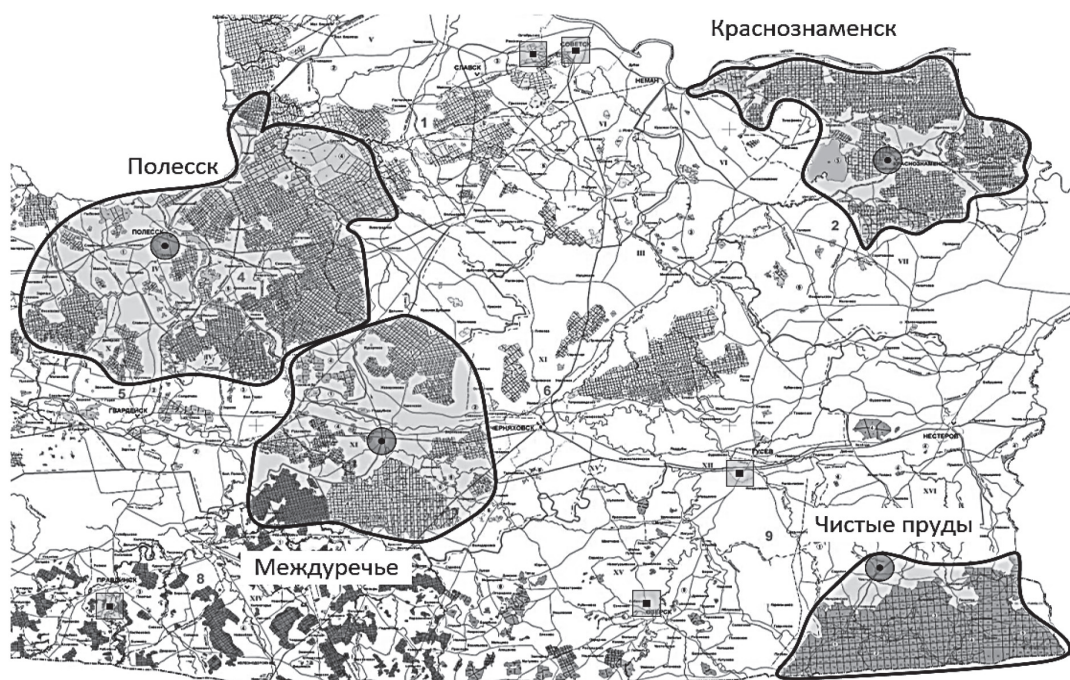


Рис. 4. Зоны сбора отходов в районах расположения центров питания

Результаты и обсуждение / Results and discussion. Электрический КПД объектов распределенной генерации при применении наиболее современного метода газификации древесных отходов и использовании газа в газопоршневом двигателе может достигать 40 %. Тепловой КПД такой мини-ТЭЦ составит до 45 % [5]. При высоких показателях эффективности максимальная мощность таких объектов генерации не превышает нескольких десятков мегаватт ввиду ограниченной мощности газификаторов и газопоршневых двигателей.

Расчет мощности объектов распределенной генерации ведется в тесной увязке с фактическими электрическими и тепловыми нагрузками в районе сооружения. В таблице 3 обобщены данные по максимальным отчетным и прогнозируемым электрическим нагрузкам для выбранных центров питания.

Таблица 3

Нагрузка силовых трансформаторов на рассматриваемых подстанциях

Подстанция	Количество и тип трансформаторов	Суммарная нагрузка трансформаторов. Прогноз на 2026 год, МВА
О-40 Чистые пруды	2x110/15 6,3 МВА	2,386
О-22 Краснознаменск	2x110/15 6,3 МВА	2,542
О-19 Полесск	2x110/15/10 16 МВА	11,726
О-50 Междуречье	2x110/15 6,3 МВА	6,111

Основными потребителями тепловой энергии от ТЭЦ и котельных являются население и коммунально-бытовые предприятия. В 2020 году в Калининградской области было отпущено 2 877,7 тыс. Гкал тепловой энергии [3]. Количество отпущенной тепловой энергии по ближайшим к выбранным районам городским округам представлено в таблице 4 [6]. По причине отсутствия в открытом доступе отчетной информации о потреблении тепловой энергии по отдельным населенным пунктам, данные таблицы сформированы с учетом численности населения и среднего показателя энергопотребления по региону [7, 8].

Таблица 4

**Отпуск и спрос на тепловую энергию в рассматриваемых населенных пунктах
Калининградской области в 2018 г.**

Населенный пункт	Отпуск тепловой энергии в городском округе, тыс. Гкал	Спрос на тепловую мощность в населенном пункте, Гкал/ч
Краснознаменск	7	2,10
Чистые пруды	7	0,23
Полесск	11	2,65
Междуречье	80	0,99

На основе обобщенной информации по методологии, изложенной в работе [9], произведен расчет установленных мощностей объектов распределенной генерации для четырех населенных пунктов с учетом применения разных способов получения энергии из древесных отходов. Результаты расчетов приведены в таблице 5 и на рисунке 5.

Таблица 5

Результаты расчетов мощности объектов распределенной генерации

Место подключения	Количество древесных отходов, кг/ч	Мощность электрическая/тепловая, МВт		
		Прямое сжигание	Быстрый пиролиз	Газификация
ПС О-40 Чистые пруды	604,1	0,34/0,72	0,55/1,19	1,50/1,16
ПС О-22 Краснознаменск	657,6	0,37/0,79	0,60/1,30	1,63/1,27
ПС О-19 Полесск	775,1	0,43/0,93	0,71/1,53	1,93/1,49
ПС О-50 Междуречье	539,0	0,30/0,65	0,49/1,06	1,34/1,04

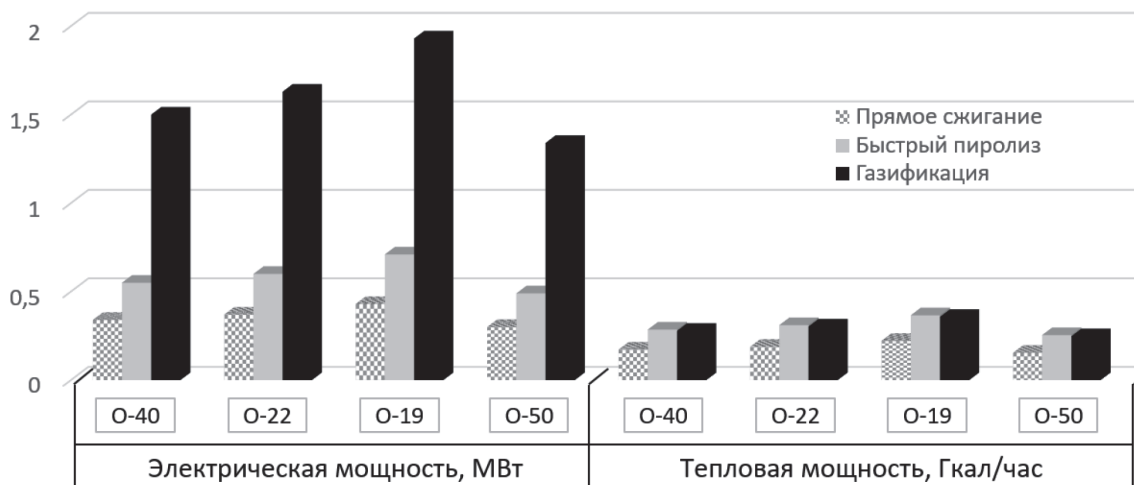


Рис. 5. Сопоставление перспективных мощностей электростанций при различных технологиях

Анализ данных таблицы 5 позволяет сделать вывод, что наибольшей эффективностью с позиции производства электрической энергии является технология газификации древесных отходов. Для дальнейшего анализа будут рассматриваться результаты расчетов мощностей для объектов распределенной генерации на основе газификации.

Для поддержания эффективности функционирования мини-ТЭЦ на высоком уровне необходимо обеспечить требуемое соотношение между производством электрической и тепловой энергии. В виду меньшей гибкости тепловой энергии с точки зрения обеспечения заданной величины местной тепловой нагрузки за основу при выборе мощности мини-ТЭЦ следует принимать потребность в тепловой энергии. В таблице 6 обобщена информация по местной тепловой и электрической нагрузке, а также доступные максимальные мощности объектов распределенной генерации в зависимости от количества топлива.

Таблица 6

Результаты расчетов мощностей и анализа местных тепловых нагрузок

Населенный пункт	Электрическая мощность, МВт		Тепловая мощность, Гкал/ч	
	Генерируемая на мини-ТЭЦ	Местная нагрузка	генерируемая на мини-ТЭЦ	Местная нагрузка
Краснознаменск	1,63	2,542	0,28	2,10
Чистые пруды	1,50	2,386	0,30	0,23
Полесск	1,93	11,726	0,36	2,65
Междуречье	1,34	6,111	0,25	0,99

По результатам расчетов можно сделать вывод, что в Краснознаменске, Полесске и Междуречье проектируемые объекты распределенной генерации смогут покрыть часть местной тепловой нагрузки. Проектируемая мини-ТЭЦ на номинальной мощности в городе Краснознаменске и поселке Чистые пруды сможет покрыть около 63 % местной электрической нагрузки. В поселке Междуречье мини-ТЭЦ покроет 22 % электрической нагрузки, а в городе Полесске – более 16 %.

В трех рассматриваемых случаях осуществление принципа когенерации является оправданным. В поселке Чистые пруды тепловая нагрузка меньше тепловой мощности перспективной мини-ТЭЦ. Но по полученной от администрации городского округа информации, отопление поселка является децентрализованным, что делает нецелесообразным осуществление принципа когенерации. При этом ввиду использования на объектах газопоршневых установок отказ от принципа когенерации снизит суммарный КПД. Тем не менее электрический КПД в 40 % не уступает показателям эффективности других объектов генерации на территории региона. Также стоит обратить внимание, что поселок Чистые пруды расположен в удалении от существующих электростанций. Это делает целесообразным сооружение электростанции без осуществления принципа когенерации.

Заключение / Conclusion. В статье была проведена оценка возможности использования систем распределенной генерации на древесных отходах в Калининградской области. По результатам анализа источников древесных ресурсов на территории региона были выбраны наиболее подходящие места для сооружения электростанций.

Для каждой электростанции была рассчитана возможная электрическая и тепловая мощность при применении различных технологий получения энергии из древесных отходов.

Сооружение четырех электростанций, рассматриваемых в работе, позволит снизить потери на передачу электроэнергии, покрыть часть местной электрической нагрузки, утилизировать значительный объем производимых отходов и покрыть тепловую местную нагрузку при осуществлении принципа когенерации.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 15.10.2020). – Текст : электронный.
2. Onsite distributed generation systems for laboratories. – URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50686.pdf> (Дата обращения: 12.10.2020). – Текст : электронный.
3. Калининградская область. Губернатор Калининградской области. О схеме и программе перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2022–2026 годы и признании утратившим силу отдельных решений Губернатора Калининградской области : Распоряжение Губернатора Калининградской области от 28.05.2021 № 19-р / Калининградская область. Губернатор Калининградской области. – Калининград, 2021. – 261 с. – Текст : непосредственный
4. Калининградская область. Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области. Лесной план Калининградской области : Указ Губернатора Калининградской области 29.12.2018 № 218 / Калининградская область. Губернатор Калининградской области. – Калининград, 2018. – 215 с. – Текст : непосредственный.
5. Буянов, А. Б. Перспективы применения когенерационных газопоршневых электростанций / А. Б. Буянов, Д. Ю. Комаров // Известия ПГУПС. – 2007. – № 1. – С. 116–135. – Текст : непосредственный.
6. Калининградская область. Губернатор Калининградской области. О схеме и программе перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2020–2024 годы и признании утратившим силу отдельных решений Губернатора Калининградской области : Распоряжение Губернатора Калининградской области от 30.04.2019 № 275-р / Калининградская область. Губернатор Калининградской области. – Калининград, 2019. – 258 с. – Текст : непосредственный.
7. Административно-территориальное деление Калининградской области. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Административно-территориальное_деление_Калининградской_области (дата обращения: 21.01.2021). – Текст : электронный.
8. Населённые пункты Калининградской области. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Населённые_пункты_Калининградской_области (дата обращения: 21.01.2021). – Текст : электронный.
9. Харитонов, М. С. Перспективы использования древесных отходов в системах распределенной генерации на территории калининградской области / М. С. Харитонов, В. И. Шульган // Вестник молодой науки. – 2020. – № 2 (24). – С. 14. – Текст : непосредственный.

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda (Energy strategy of Russia for the period up to 2030). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (data obrashcheniya: 15.10.2020).
2. Onsite distributed generation systems for laboratories. – URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50686.pdf> (Data obrashcheniya: 12.10.2020).
3. Kaliningradsкая oblast'. Gubernator Kaliningradskoi oblasti. O sheme i programme perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Kaliningradskoj oblasti na 2022–2026 gody i priznanii utrativshimi silu otdel'nyh reshenij Gubernatora Kaliningradskoj oblasti (About the scheme and program for the prospective development of the electric power industry of the Kaliningrad region for 2022–2026) : Rasporyazhenie Gubernatora Kaliningradskoi oblasti ot 28.05.2021 No. 19-r / Kaliningradsкая oblast'. Gubernator Kaliningradskoi oblasti. – Kaliningrad, 2021. – 261 s.
4. Kaliningradsкая oblast'. Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii Kaliningradskoj oblasti. Lesnoj plan Kaliningradskoj oblasti (Forest plan of the Kaliningrad region) : Ukaz Gubernatora Kaliningradskoj oblasti ot 29.12.2018 No. 218 / Kaliningradsкая oblast'. Gubernator Kaliningradskoi oblasti. – Kaliningrad, 2018. – 215 s.
5. Buyanov, A. B. Perspektivy primeneniya kogeneracionnyh gazoporshnevnyh elektrostancij (Prospects for the use of cogeneration gas piston power plants) / A. B. Buyanov, D. Yu. Komarov // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2007. – No. 1. – S. 116–135.
6. Kaliningradsкая oblast'. Gubernator Kaliningradskoj oblasti. O sheme i programme perspektivnogo razvitiya elektroenergetiki Kaliningradskoj oblasti na 2020–2024 gody i priznanii utrativshimi silu otdel'nyh reshenij Gubernatora Kaliningradskoj oblasti (About the scheme and program for the prospective

development of the electric power industry of the Kaliningrad region for 2020-2024) : Rasporyazhenie Gubernatora Kaliningradskoj oblasti ot 30.04.2019 No. 275-r / Kaliningradskaya oblast'. Gubernator Kaliningradskoi oblasti. – Kaliningrad, 2019, 258 p.

7. Administrativno-territorial'noe delenie Kaliningradskoj oblasti (Administrative-territorial division of the Kaliningrad region). – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Administrativno-territorial'noe_delenie_Kaliningradskoi_oblasti](https://ru.wikipedia.org/wiki/Administrativno-territorial'_noe_delenie_Kaliningradskoi_oblasti) (data obrashcheniya: 21.01.2021).
8. Naseennyye punkty Kaliningradskoj oblasti (Settlements of the Kaliningrad region). – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Naseennyye_punkty_Kaliningradskoi_oblasti (data obrashcheniya: 21.01.2021).
9. Haritonov, M. S. Perspektivy ispol'zovaniya drevesnyh othodov v sistemah raspredelennoj generacii na territorii Kaliningradskoj oblasti (Prospects of wood waste based distributed generation systems in the Kaliningrad region) / M. S. Haritonov, V. I. Shul'gan // Vestnik molodezhnoj nauki. – 2020. – No. 2 (24). – S. 14.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шульган Владимир Игоревич, студент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», e-mail: st.kalcifer@mail.ru

Харитонов Максим Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», e-mail: mskharitonov@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Shulgan Vladimir, student of the Power Engineering Department, Kaliningrad State Technical University, E-mail: st.kalcifer@mail.ru

Kharitonov Maxim, Ph.D. (Eng), assistant professor of the Power Engineering Department, Kaliningrad State Technical University, e-mail: mskharitonov@mail.ru