



Научная статья

УДК 620.91(571.53) «312/313»

<https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-657-668>

Уголь в топливно-энергетическом балансе Республики Саха (Якутия)

Никита Владимирович Павлов^{1✉}, Людмила Николаевна Такайшвили²,
Альбина Егоровна Иванова³

^{1,3}Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН

²Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

¹pavlov_nv@iptpn.ysn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3936-9158>

²luci@isem.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1269-898X>

³aeiva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5748-0290>

Резюме. Цель – оценка роли угля в топливно-энергетическом балансе Республики Саха (Якутия) с учетом наличия значительных запасов угля, в том числе низкокачественных и местных углей в труднодоступных районах. Исследования проведены с применением методов системного анализа. Для оценки роли угля в топливно-энергетическом балансе рассматривались динамика добычи и потребления топливно-энергетических ресурсов в ретроспективе и прогнозные показатели. Прогнозные показатели получены в результате анализа программных документов, доступных ресурсов добычи угля и расчетов авторов. Выполнен анализ структуры производства и потребления топливно-энергетических ресурсов Республики Саха (Якутия). Показано, что для выработки электроэнергии и тепла уголь является одним из основных ресурсов наряду с газом и гидроресурсами. Его доля в потреблении первичных топливно-энергетических ресурсов в 2020 г. составила 34,6%. По результатам расчетов добыча угля республики в перспективе может составить до 43 млн т, что позволит в будущем стабилизировать экспортные поставки угля и потребность в топливе на электростанциях и котельных в республике и в ближайших регионах. Проекты развития угольной энергетики в республике рассчитаны на потребление каменных углей Южно-Якутского угольного бассейна. В оптимальных прогнозных балансах доля угля не претерпит существенных изменений и может составить от 37,8 до 38,7% к 2035 г. Установлено, что потенциальные возможности потребления угля могут возрасти с 3,5 млн т у.т. в 2020 г. до 4,1–4,8 млн т у.т. в год. Возможности добычи значительно превышают их востребованность как в настоящее время, так и в будущем. Системный анализ полученных результатов позволил определить основные факторы, влияющие на потребление угля в долгосрочной перспективе. Уголь разрабатываемых месторождений Южно-Якутского бассейна является надежным ресурсом топливоснабжения в дальнейшем районах в зоне централизованного энергоснабжения. В районах Республики Саха (Якутия) со слабо развитой инфраструктурой и малой плотностью населения уголь местных месторождений является альтернативой завозному топливу, если разработка этих месторождений экономически и социально оправдана.

Ключевые слова: топливно-энергетический баланс, угольная промышленность, потребление, добыча, прогноз

Благодарности: Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0004) и проекта государственного задания (№ FWRS-2021-0014).

Для цитирования: Павлов Н. В., Такайшвили Л. Н., Иванова А. Е. Уголь в топливно-энергетическом балансе Республики Саха (Якутия) // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 4. С. 657–668. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-657-668>.

Coal in energy balance of the Republic of Sakha (Yakutia)

Nikita V. Pavlov^{1✉}, Lyudmila N. Takaishvili², Albina E. Ivanova³

^{1,3}Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North SB RAS,

²Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

¹pavlov_nv@iptpn.ysn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3936-9158>

²luci@isem.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1269-898X>

³aeiva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5748-0290>

Abstract. In the article, the role of coal in the energy balance of the Republic of Sakha (Yakutia) is assessed by factoring in significant coal reserves, including low-quality and local coal in hard-to-reach areas. The research was carried out using system analysis methods. To this end, the retrospective dynamics of production and consumption of fuel and energy resources in retrospect and estimates were considered. The estimates were obtained by analysing reference documents, available resources for coal mining and the calculations performed by the authors. The production and consumption of fuel and energy resources of the Republic of Sakha (Yakutia) were analysed. It was shown that coal comprises one of the main resources for power and heat generation, along with gas and water resources. Its share in the consumption of primary fuel and energy resources in 2020 amounted to 34.6%. According to the calculation results, the coal production in the Republic in the future may reach 43 million tons, which will lead to the stabilisation of the export supply of coal and the demand for fuel at power plants and boiler houses in the Republic and neighbouring regions. Projects for developing the coal-fired power industry in the Republic rely on the consumption of coal from the South Yakut coal basin. In the optimal forecast balances, the share of coal generally remaining unchanged may range from 37.8 to 38.7% by 2035. It was established that the potential for coal consumption may increase from 3.5 million tons of coal, equivalent in 2020 to 4.1–4.8 million tons of coal equivalent per year. Mining opportunities significantly exceed their demand, both at present and in the future. A system analysis of the obtained results allowed the main factors affecting coal consumption in the long term to be identified. Coal mined in the South Yakut basin comprises a reliable fuel source in the zone of centralised energy supply in the future. In areas of the Republic of Sakha (Yakutia) having underdeveloped infrastructure and low population density, coal from local deposits becomes an alternative to imported fuel if their development is economically and socially justified.

Keywords: fuel and energy balance, coal industry, consumption, production, forecast

Acknowledgements: The work was carried out under the draft state assignment no. FWEU-2021-0004 and the draft state assignment no. FWRS-2021-0014.

For citation: Pavlov N. V., Takaishvili L. N., Ivanova A. E. Coal in energy balance of the Republic of Sakha (Yakutia). *iPolytech Journal*. 2022;26(4):657-668. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-657-668>.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Саха (Якутия) является самым крупным по площади субъектом Российской Федерации и входит в состав Дальневосточного федерального округа. Особенностью территориального расположения республики является наличие значительных площадей со слабо развитой транспортной и энергетической инфраструктурой, в том числе отнесенных к территориям Арктической зоны Российской Федерации [1]. Площадь Арктической зоны составляет 1608,8 тыс. км² (52,2% территории республики). К Арктической зоне относится 52,2% территории республики. Там проживает всего 7,3% от численности населения, при плотности населения 0,04 чел/км². Особенности топливно-энергетического баланса (ТЭБ) республики обусловлены наличием зон

централизованного и децентрализованного энергоснабжения. В зоне централизованного энергоснабжения, составляющей 36% от территории, проживает 85% населения. На зону децентрализованного электроснабжения приходится, соответственно, 64% территории с 15% населения республики, основной проблемой топливоснабжения которой является сложная транспортная доступность из-за удаленности населенных пунктов. Основные виды топлива в этой зоне: привозной уголь, газоконденсат, сырая нефть, дизельное топливо.

Республика обладает значительными запасами энергоресурсов: угля, нефти, газа и гидроресурсов. Их использование находит отражение в ТЭБ республики. Тем не менее, основными ресурсами для выработки электроэнергии в республике являются уголь, газ,

гидроресурсы и дизтопливо, а теплоэнергии – уголь, газ, сырая нефть, газоконденсат. В потреблении первичных энергоресурсов доля угля в ретроспективе составляла от 60 до 80%⁴. Оценка роли и места углей Республики Саха (Якутия) в топливно-энергетическом балансе в Республике Саха (Якутия) важна, поскольку уголь является одним из основных видов топлива на электростанциях республики.

Исследование роли угля в ТЭБ республики на перспективу является актуальным в силу ряда причин. Наличие значительных ресурсов высококачественного угля, в том числе коксующегося, востребованного на мировом и российском рынках, предполагает развитие переработки угля. Продукты переработки в виде коксового и энергетического концентратов в настоящее время поставляются на экспорт и в коксохимические заводы России. В будущем спрос на них будет увеличиваться. Низкосортные продукты переработки должны использоваться для нужд энергетики, в основном в пределах республики. Невостребованность таких продуктов для нужд энергетики может сдерживать развитие угольной промышленности. Что касается территорий со слаборазвитой инфраструктурой, северных и арктической зоны, при наличии там даже мелких месторождений угля, уголь может быть основным, надежным энергоресурсом и составить конкуренцию другим

привозным энергоресурсам.

Курс на декарбонизацию экономики многими странами мира, в том числе России, стал в последние годы весьма актуальным направлением [2, 3]. Среди планирующих сокращение угольной генерации стран находятся в том числе и страны-импортеры Якутского угля.

Учитывая наличие значительных запасов угля на территории республики, в том числе в труднодоступных районах, представляется актуальным исследование роли угля в обеспечении топливом потребностей экономики Республики Саха (Якутия) на перспективу, отраженных в ряде официальных документов^{5,6}.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены с применением методов системного анализа: анализ и синтез, формализация и конкретизация, структурирование и реструктурирование, классификация [4–7]. В исследованиях использованы справочная литература по запасам углей Дальневосточного федерального округа⁷ и прогнозным ресурсам твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации^{8,9}, официальные статистические данные по угольной промышленности и другим топливным отраслям, а также официальные программные документы^{10,11} и

⁴Статистические сборники и бюллетени по основным показателям деятельности организаций ТЭК Республики Саха (Якутия). Якутск, 2008–2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://sakha.gks.ru/> (29.03.2022).

⁵ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4lgsApssm6mZRb7wx.pdf>

⁶Проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (далее — проект низкоуглеродной стратегии до 2050 года) [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf

⁷Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 91, Уголь, Том VIII, Дальневосточный федеральный округ. М.: Министерство Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию, Российский Федеральный геологический фонд, 2019. 412 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rfgf.ru/info-resursy/raboty-po-izucheniyu-nedr> (26.05.2021).

⁸Прогнозные ресурсы твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. М.: Министерство Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию, Российский Федеральный геологический фонд, 2019. 80 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rfgf.ru/info-resursy/raboty-po-izucheniyu-nedr> (26.05.2021).

⁹Статистические и аналитические информационные материалы по основным показателям производственной деятельности организаций угольной отрасли России. М.: ЦДУ ТЭК, 2000–2020. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdu.ru> (20.12.2021).

¹⁰Сценарные условия развития электроэнергетики России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: https://atompool.ru/images/data/gallery/1_8337__usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf (02.08.2020).

¹¹Федеральная целевая программа «экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/economics/program-social-economic-development-of-the-far-east-and-the-baikal-region-for-the-period-till-2025.php> (6.05.2021)

Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года¹².

БАЛАНСОВЫЕ ЗАПАСЫ УГЛЯ

По балансовым запасам углей и их качественным характеристикам республика относится к основным субъектам Российской Федерации. В республике расположены крупнейшие угольные бассейны России: каменноугольные Южно-Якутский и Зырянский, преимущественно бурогоугольный Ленский, восточная часть Тунгусского бассейна и отдельные месторождения в северо-восточном и северном регионах Якутии.

В разведанных балансовых запасах категорий $A+B+C_1+C_2$ доля коксующихся углей, представленных большей частью особо ценными марками, велика и составляет 47%. Энергетические угли в балансовых запасах представлены бурыми углями – 79% от объемов запасов и каменными – 21%, соответственно [5] (табл. 1).

Прогнозные ресурсы республики 923,8 млрд т составляют 23,5% от прогнозных ресурсов Российской Федерации и 79,6% Дальневосточного федерального округа [8]. Изученность запасов угля характеризует отношение балансовых запасов угля к ресурсам угля, которое для республики равно 1,1%. Наиболее изучены запасы угля в Южно-Якутском бассейне, где это отношение составляет 19,2%, в то время как для Ленского бассейна и прочих – менее 1%.

Доля Южно-Якутского бассейна в балансовых запасах республики составляет 51%, для открытой добычи пригодны около 40% от запасов, при этом бассейн является наиболее перспективным для развития угледобычи.

Перспективы развития добычи углей связаны с вовлечением в угледобычу подготовленных к разработке месторождений и освоением пока не освоенных прогнозных ресурсов. Основная часть балансовых запасов Южно-Якутского бассейна на территории с развитой инфраструктурой. Это позволяет достигнуть

высокой концентрации добычи и с относительно высокой эффективностью их освоения.

В районах с неразвитой транспортной и социальной инфраструктурой расположены отдельные месторождения Ленского, Зырянского и Тунгусского бассейнов, а также некоторые месторождения вне пределов угольных бассейнов, их можно отнести к местным углям (табл. 2). Основной особенностью месторождений местных углей является отсутствие транспортных коммуникаций и малая изученность. Марочный состав месторождений местных углей разнообразный – от бурого до высококачественного каменного.

Таблица 1. Балансовые запасы Республики Саха (Якутия) по направлениям использования и способу отработки, млрд т

Table 1. Balance reserves of the Republic of Sakha (Yakutia) by uses and mining method, billion tons

Вид угля, способ отработки	Категория запасов		
	$A+B+C_1$	C_2	$A+B+C_1+C_2$
Всего, в том числе	9,7	4,6	14,3
Коксующийся	4,1	2,6	6,7
Энергетический	5,6	2	7,6
Бурый	4,5	1,6	6,0
Каменный	1,1	0,4	1,6
Для открытой разработки	6,5	2,1	8,5
Коксующийся	1,4	0,3	1,8
Энергетический	5,0	1,8	6,7
Бурый	4,4	1,6	6,0
Каменный	0,6	0,2	0,7

Примечание. Рассчитано по данным [5].

Таблица 2. Балансовые запасы местного угля Республики Саха (Якутия) по видам, млрд т

Table 2. Balance reserves of coal in the Sakha Republic (Yakutia) by the coal types, billion tons

Вид угля	Категория запасов		
	$A+B+C_1$	C_2	$A+B+C_1+C_2$
Бурый	0,6	0,9	1,4
Каменный	1,0	1,0	2,0
Всего местные	1,6	1,9	3,4

Примечание. Рассчитано по данным [5].

¹²Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г. Утв. распор. № 1582-р Правительства Российской Федерации от 13.06.2020.

Ограничения для развития угледобычи обусловлены не только климатическими факторами (продолжительная зима, резкие колебания температур и т.п.), но непосредственно характеристиками месторождений угля, такими как:

- сложные горно-геологические и гидрологические условия [9];
- наличие вечной мерзлоты на всей территории республики и наличие в последнее время процессов, связанных с таянием вечной мерзлоты;
- высокая вероятность необратимости негативного воздействия на окружающую среду, связанная с достаточно длинным периодом восстановления природы в северных районах [10];
- слаборазвитая или отсутствующая транспортная инфраструктура в районе перспективных месторождений.

ПРОИЗВОДСТВО И ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

На территории Республики Саха (Якутия), как и в остальной части Сибири и Дальнего Востока, находятся крупные месторождения топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). В связи со спросом на энергетические ресурсы

в странах АТР, импортирующих российские ТЭР, в республике неуклонно увеличивается их добыча. За период с 2008 г. по 2020 г. добыча ТЭР увеличилась в 3,2 раза. Добыча угля выросла в 1,3 раза, природного газа – в 3,9 раза, нефти и газоконденсата – в 20 раз (табл. 3). Возросла обеспеченность электроэнергией и теплоэнергией. В структуре выработки электроэнергии наибольшую долю занимают ТЭС (70,3%). Общий рост выработки электроэнергии произошел за счет газовой (доля изменилась с 28,6% до 36,6% в общей выработке электроэнергии) и угольной генерации (с 32,5% до 33,7%). Происходит кратный рост выработки электроэнергии за счет ввода в эксплуатацию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Обеспеченность теплоэнергией возросла за счет котельных угольных, газовых и дизельных.

Доля республики в общероссийской добыче энергоресурсов возросла и в 2020 г. составила: по добыче нефти – 3,2%, угля – 4,1%, природного газа – 1%, по производству электроэнергии – 0,9%.

Районы Республики Саха (Якутия) по основным рынкам сбыта и критериям транспортной доступности условно разделяются на две группы: северную и южную [11].

Таблица 3. Динамика производства топливно-энергетических ресурсов в Республике Саха (Якутия)
Table 3. Production dynamics of fuel and energy resources in the Republic of Sakha (Yakutia)

Топливо-энергетический ресурс	Год			
	2008	2010	2015	2020
Уголь, млн т	12,4	11,1	15,3	16,3
Нефть и газовый конденсат, млн т	0,8	3,5	9,6	16,2
Газ природный, млрд м³	1,8	1,9	2,0	7,0
Газ попутный, млрд м³	0,2	0,5	0,8	1,1
Электроэнергия, млрд кВт·ч, в том числе:	7,7	7,3	9,0	10,1
– ГЭС, млрд кВт·ч	3,0	2,7	3,0	3,0
– ТЭС, млрд кВт·ч	4,7	4,6	6,0	7,1
– в т.ч. ДЭС, млрд кВт·ч	0,4	0,5	0,6	0,9
– ВИЭ, млн кВт·ч	0,1	0,0	0,2	3,0
Тепловая энергия, млн ГДж, в том числе:	59,9	60,7	59,4	64,1
– котельные	39,8	39,4	38,5	43,5
– ТЭС	18,4	18,8	19,3	18,8
– прочие	1,7	2,5	1,7	1,7

Примечания. Рассчитано по данным [2], оценки авторов.

Прочие – электробойлерные и теплоутилизационные установки.

Южные районы республики (Алданский и Нерюнгринский районы) имеют хорошо развитую энергетическую и транспортную инфраструктуру и более высокую плотность населения: от 0,26 чел/км² до 0,76 чел/км². Здесь добывается около 95% углей от всего добываемого объема угля в республике [2]. Угледобывающие предприятия южных регионов являются градообразующими и имеют большую социальную значимость. Стабильная добыча угля происходит на действующих предприятиях Южно-Якутского угольного бассейна и за счет реализации инвестиционных проектов ООО УК «Колмар», ООО «Эльгауголь».

На угледобывающих предприятиях северной группы ведется добыча энергетических, так называемых Якутских углей. Они используются для нужд жилищно-коммунального хозяйства. Основной объем поставок этих углей приходится на короткий навигационный период, соответственно, добыча угля носит сезонный характер.

В республике уголь является традиционным энергоресурсом для электростанций и котельных. Потребляются, преимущественно, угли месторождений Южно-Якутского бассейна, порядка 70% от объемов потребления. В структуре потребления котельно-печного топлива республики доля угля в 2020 г. составила 51,0%, газа природного и попутного – 41,1%, прочих – 7,9%. В качестве сравнения: в среднем по России доля угля составляет около 15%, а газа 20%. В последние годы потребление угля в республике имеет тенденцию к снижению, за счет увеличения доли природного газа, в который включено

потребление на топливные и нетопливные нужды (ежегодно около 0,9 млн т у.т.) (табл. 4).

Основными потребителями угля в республике являются объекты энергетики. На электростанциях Южной Якутии и соседних регионов потребляются чаще всего низкосортные продукты переработки высококачественных коксующихся и энергетических углей и рядовые каменные угли Нерюнгринского, Денисовского и Чульмаканского месторождений. Основной объем потребления угля приходится на Нерюнгринскую ГРЭС. В северных и арктических регионах – бурые и каменные угли в рядовом виде. Депутатская ТЭЦ в арктической зоне потребляет уголь с Бейского месторождения Республики Хакасия. На котельных республики используются как каменные угли, так и бурые, в том числе месторождений местных углей, а также привозные угли из Магаданской области аркагалинского месторождения, а также Минусинского угольного бассейна Республики Хакасия. Из месторождений местных углей для энергетического использования разрабатываются месторождения каменных углей Надеждинское, Джебарики-Хайское, Харбалахское и бурых углей: Кангаласское, Кировское и Кемпендяйское. Котельные используют природный газ, дизельное топливо, нефть и электроэнергию.

Южно-Якутские угли потребляются и на энергетических объектах Приморского и Хабаровского краев, где уголь является замыкающим топливом в балансе котельно-печного топлива [12]. Соответственно, его потребление зависит от среднегодовой температуры.

Таблица 4. Динамика потребления первичных топливно-энергетических ресурсов в Республике Саха (Якутия), в млн т у.т.

Table 4. Consumption dynamics of primary fuel and energy resources in the Republic of Sakha (Yakutia), million t OE

Топливо-энергетический ресурс	Год			
	2008	2010	2015	2020
Уголь	2,5	3,2	2,7	3,5
Нефть и газовый конденсат	0,9	0,5	0,7	2,3
Природный и попутный газ	2,3	2,8	3,3	3,9
Гидроэнергия и НВИЭ	0,4	0,3	0,4	0,4
ВСЕГО:	6,1	6,8	7,1	10,1

Примечания. Рассчитано по данным [2], оценки авторов.

НВИЭ – нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Добыча газа в республике ведется на нескольких месторождениях: Чаяндинском, Среднеботуобинском – нефтегазоконденсатных, Средневилуйском, Среднетюнгском, Отрадинском – газоконденсатных. Самое крупное из которых – Чаяндинское. Газ Чаяндинского месторождения предназначен для поставок за пределы республики, газ других месторождений потребляется в республике. Почти весь объем добытой сырой нефти вывозится за пределы. Таким образом, около 80% добытого угля, более 55% природного газа и 97% нефти вывозятся за пределы республики. В 2020 г. поставлено в регионы России и на экспорт 15,4 млн т нефти, 4,6 млрд м³ газа, 15,2 млн т угля.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ УГЛЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Ресурсы в энергетике складываются из непосредственно добываемых энергетических углей и низкосортных продуктов переработки высококачественных энергетических и коксующихся углей. Высококачественные продукты переработки, концентраты энергетического и коксующегося угля, как правило, предназначены для экспорта. В настоящее время потребность объектов энергетике в угле удовлетворяется в основном за счет Нерюнгринского, Денисовского месторождений на юге, Джебарики-Хайское, Харбалахское, Надеждинское месторождения и несколько других небольших месторождений.

Наличие запасов высококачественных углей, востребованных на мировом рынке, создает перспективы для развития экспорта угля. Согласно существующим проектам, объемы добычи углей экспортного качества могут составить до 50 млн т в год, включая Эльгинское месторождение – 30; Денисовское – 5,2; Чульмаканское – 4,8; Кабактинское – 3. На экспорт поставляются высококачественные концентраты углей. Низкосортные продукты переработки с перечисленных месторождений должны найти применение на объектах энергетике республики или других регионов России. Объёмы низкосортных продуктов переработки могут составить до 42% от объемов переработки или до 18 млн т.

Большинство месторождений местных

углей нуждается в дополнительных исследованиях качества угля и не разрабатываются. Угли месторождений, которые можно отнести к местным, как правило, низкого качества. Местные угли, в основном, низко-сернистые и среднезольные. Для них характерна неоднородность распределения зольности угля и теплоты его сгорания на отдельных участках. Использование таких углей сопровождается снижением эффективности работы котельного оборудования [13–15]

Проблемам использования углей низкого сорта в качестве топлива посвящено множество зарубежных и российских исследований [16–25]. Развитие угледобычи на этих месторождениях возможно, главным образом, при использовании этих углей на месте добычи, при наличии в этом потребности и экономической целесообразности.

В республике пока не стоит задача широкого вовлечения в хозяйственный оборот месторождений местных углей для энергетического использования в связи с наличием значительных запасов угля, которые используются без предварительной подготовки топлива, а также наличия альтернативных источников топлива и энергоснабжения изолированных регионов. Исключение, могут составить угли изолированных районов, где другие источники топливоснабжения экономически не оправданы или малодоступны. Тем не менее угли месторождений местных углей являются потенциальными ресурсами для энергетике.

ПРОГНОЗ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

В программных документах^{10,13}, предусматривается как строительство (Эльгинская ГРЭС (КЭС¹³) и Джебарики-Хайская ТЭЦ¹³), так и расширение мощности действующих электростанций (Нерюнгринской ГРЭС¹⁴). Прирост мощности за счет реализации этих проектов может составить 2175 МВт. Востребованные объемы потребления угля на представленных электростанциях составляют 5,3–6,5 млн т у.т., из которых более 90% составляют угли месторождений Южно-Якутского

бассейна. Потребность в топливе для электростанций рассчитана исходя из удельного нормативного расхода топлива, мощности электростанций, возможного годового объема выработки электроэнергии и низшей теплоты сгорания угля месторождения (проектного топлива).

Рассматривается также сооружение объектов энергетики на угле в зоне децентрализованного энергоснабжения в основном предназначенных для работы в промышленности. Так, в 2017 г. была введена ТЭЦ на угле мощностью 16 МВт на месторождении Гросс на территории Олекминского района.

Проекты строительства угольных ТЭС находятся зачастую в начальной степени проработки, и реализация проектов часто может сильно сдвигаться по срокам либо становиться недостижимой по разным причинам.

Исходя из анализа существующего состояния, и задач, решаемых «Стратегией социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года и на перспективу до 2050 года»⁹, «Энергетической стратегией Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года»¹⁰, разработаны сценарии развития энергетики республики на перспективу до 2035 года: базовый и консервативный. В представленных сценариях учтено расширение Нерюнгринской ГРЭС, вывод из эксплуатации Чульманской ТЭЦ (в связи с высоким износом оборудования), перевод существующих котельных с дров на сжигание угля, строительство новых промышленных котельных, перевод на газ объектов энергетики населенных пунктов в Алданском, Ленском, Нерюнгринском и Олекминском районах республики. Ввод в эксплуатацию Эльгинской ГРЭС и Джебарики-Хайской ТЭЦ планируется за

пределами рассматриваемого периода.

Базовый сценарий предполагает сценарий развития экономики республики с учетом принимаемых мер и предстоящих внешних обстоятельств, при этом принят за основу возрастающий спрос на производимую экспортно-ориентированную продукцию.

Среднегодовые темпы роста ВРП по консервативному сценарию прогнозируются на уровне 102% в 2021–2025 гг., а в перспективе до 2035 г. – 101,2%^{15,16}.

В консервативном сценарии рассматривается усиление для России санкционного режима, более длительное восстановление экономики, замедление ее роста в среднесрочной перспективе.

Выполнен прогноз потребления первичных ТЭР с учетом заданных предпосылок. Потребление ТЭР к 2035 г. может составить 10,6–12,7 млн т у.т. (табл. 5). Основными видами топлива продолжат оставаться уголь и природный и попутный газ. В 2020 г. доля угля составила 35%, а газа 39% (табл. 5). В перспективе доля угля в потреблении ТЭР может возрасти незначительно – до 38–39% за счет сокращения доли нефти и газового конденсата.

Для обеспечения внутреннего потребления в топливных ресурсах, а также объемов межрегиональных и экспортных поставок, производство энергоресурсов в 2035 г. должно достигнуть следующих показателей: угля – 37,1–43 млн т; нефти – 21–23 млн т; природного газа – 23,3–24 млрд м³ (табл. 6).

Перспективы декарбонизации экономики республики связаны с развитием возобновляемой энергетики и переводом на газ объектов энергетики. Предусмотрен ввод к 2025 г. котельной на природном газе мощностью

¹³Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года и на перспективу до 2050 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://publication.pravo.gov.ru/%2FFile%2FGet-File%2F1400202008170001%3Ftype%3Dpdf&usg=AOvVaw0mJR8npu9f1S5Onb4SBqGJ> (20.12.2021).

¹⁴Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/26740479/> (20.12.2021).

¹⁵О внесении изменений в постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 23 ноября 2016 г. № 422. «О долгосрочном прогнозе социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на период до 2035 года» от 27 января 2020 г. № 6. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия).

¹⁶О прогнозе социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на 2022–2024 годы. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 15 сентября 2021 г. № 334.

Таблица 5. Прогноз потребления первичных топливно-энергетических ресурсов в Республике Саха (Якутия), млн т у.т/год

Table 5. Forecast of primary fuel and energy resources consumption in the Sakha Republic (Yakutia), million t OE per year

Вид топлива	Год			
	факт	прогноз*		
	2020	2025	2030	2035
Всего, в том числе	10,1	10,2–10,5	10,5–12,5	10,6–12,7
Уголь	3,5	3,6–3,9	4,1–4,8	4,1–4,8
Нефть и газовый конденсат	2,3	2,3–2,3	2,1–3,3	2,1–3,2
Природный и попутный газ	3,9	3,9–3,9	3,9–4,0	4,0–4,3
Гидроэнергия и НВИЭ	0,4	0,4–0,4	0,4–0,4	0,4–0,4

Примечание. *Оценки авторов.

Таблица 6. Прогноз добычи (производства) топливно-энергетических ресурсов в Республике Саха (Якутия)

Table 6. Forecast of fuel and energy resources production in the Republic of Sakha (Yakutia)

Топливо-энергетический ресурс	Год			
	факт	прогноз		
	2020	2025	2030	2035
Уголь, млн т	16,3	27,7–37,1	37,1–42,3	37,1–43
Нефть и газовый конденсат, млн т	16,2	17,8–18,5	19,8–20,7	20,6–23,0
Природный и попутный газ, млрд м ³	8,1	11,9–17,9	16,6–21,0	23,3–24,0
Электроэнергия, млрд кВт·ч	10,1	10,1–10,2	10,1–10,2	12,8–13,6
Тепловая энергия, млн ГДж	64,1	66,6–66,6	72,9–74,1	77,9–80,0

Примечание. Источник – оценки авторов.

460,6 ГДж/ч. Республика обладает ресурсами для развития возобновляемой энергетики, которые можно использовать для экономии привозного дизтоплива [26]. Значительной преградой для широкомасштабного использования потенциала возобновляемой энергетики в условиях республики является продолжительный зимний период, характеризующийся отсутствием солнечного излучения, снижения ветрового и водного потенциалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ роли угля в ТЭБ Республики Саха (Якутия) и сырьевой базы для развития угольной энергетики показывает:

- республика обладает достаточными для обеспечения потребности в топливе большинства регионов республики ресурсами угля;
- уголь является надежным ресурсом топливоснабжения на длительную перспективу;
- декарбонизация не окажет существенного влияния на потребление угля;

– слаборазвитая транспортная инфраструктура вкупе со сложной транспортной схемой доставки создают сложности для доставки топлива потребителям;

– в регионах республики с малой плотностью населения и низкой транспортной доступностью уголь местных месторождений может составить альтернативу завозному мазу, если там имеются месторождения угля и разработка этих месторождений экономически и социально оправдана;

– ограниченная потребность в низкосортных продуктах переработки энергетических и коксующихся углей, предназначенных для поставок на экспорт может служить ограничением для роста добычи этих углей.

В перспективе – до 2035 г. и далее уголь будет оставаться одним из основных топливно-энергетических ресурсов Республики Саха (Якутия) как наиболее доступный топливно-энергетический ресурс.

Список источников

1. Фаузер В. В., Лыткина Т. С., Смирнов А. В. Дифференциация арктических территорий по степени заселенности и экономической освоенности // Арктика: экология и экономика. 2017. № 4. С. 18–31. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2017-4-18-31>.
2. Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С., Дьяченко К. И. Основные тенденции развития угольной промышленности мира и России в условиях низкоуглеродной энергетики. Часть I. Анализ темпов и пропорций развития угольной отрасли, сформированных под воздействием стран-лидеров угольного рынка // Горный журнал. 2022. № 7. С. 10–16. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.07.01>.
3. Honoré A. Decarbonization and industrial demand for gas in Europe. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies, 2019. 45 p. <https://doi.org/10.26889/9781784671396>.
4. Воропай Н. И. Системные исследования в энергетике: ретроспектива научных направлений Сибирского энергетического института – Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. Новосибирск: Изд-во «Наука», 2010. 686 с.
5. Макаров А. А., Воропай Н. И. Системные исследования в энергетике: методология и результаты. М.: Изд-во ИНЭИ РАН, 2018. 308 с.
6. Макаров А. А. Системные исследования энергетики: 50-летие надежд и 20 лет в тени // Известия Российской Академии наук. Энергетика. 2014. № 2. С. 3–15.
7. Такайшвили Л. Н. Учет свойств угольной промышленности, как системы топливно-энергетического комплекса при моделировании ее развития // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 10. С. 138–149. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-10-138-149>.
8. Таразанов И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2020 года // Уголь. 2021. № 3. С. 27–43. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-3-27-43>.
9. Подолян В. И., Елисафенко Т. Н., Пензин Ю. П. Угольная база России. Т. V. Кн. 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 638 с.
10. Тихановский А. Н. Проблемы и методы биологической рекультивации техногенно нарушенных земель Крайнего Севера // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 43–47.
11. Соколов А. Д., Такайшвили Л. Н., Петров Н. А., Павлов Н. В. Угольная промышленность Республики Саха (Якутия): существующее состояние и возможности развития // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 4. С. 63–69.
12. Такайшвили Л. Н., Агафонов Г. В. Перспективы использования энергетических углей Иркутской области // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 6. С. 1271–1284. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1271-1284>.
13. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Шепелева Е. Г. Малые угледобывающие предприятия в заполярных районах Якутии // ЭКО. 2017. № 2. С. 134–145.
14. Хоютанов Е. А., Гаврилов В. Л. Моделирование угольных месторождений заполярной зоны Якутии // Проблемы недропользования. 2017. № 4. С. 53–60. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.04.053>.
15. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А., Попова К. С. Оценка вариантов завоза и использования угля при освоении месторождений золота Арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. 2021. № 2. Т. 11. С. 152–163. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-152-163>.
16. Filippov S. P. New technological revolution and energy requirements // Foresight and STI Governance. 2018. Vol. 12. Iss. 4. P. 20–33. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.4.20.33>.
17. Agraniotis M., Bergins C., Stein-Cichoszewska M., Karas E. 5 - High-efficiency pulverized coal power generation using low-rank coals // Low-Rank Coals for Power Generation, Fuel and Chemical Production. 2017. P. 95–124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100895-9.00005-X>.
18. Ryabov G. A., Antonenko E. V., Krutitskii I. V., Folomeev O. M., Belyaev A. V. Application of the technology of combustion of solid fuels in a circulating fluidized bed // Power Technology and Engineering. 2018. Vol. 52. P. 308–313. <https://doi.org/10.1007/s10749-018-0950-0>.
19. Katalambula H., Gupta R. Low-grade coals: a review of some prospective upgrading technologies // Energy Fuels. 2009. Vol. 23. Iss. 7. P. 3392–3405. <https://doi.org/10.1021/ef801140t>.
20. Росляков П. В., Кондратьева О. Е., Головтеева А. Н., Сиваковский А. М. Алгоритм оптимального выбора наилучших доступных технологий для российских ТЭС // Теплоэнергетика. 2019. № 4. С. 60–72. <https://doi.org/10.1134/S0040363619040064>.
21. Ma Cheng, Zou Chong, Zhao Junxue, Shi Ruimeng, Li Xiaoming, He Jiangyong, et al. Pyrolysis characteristics of low-rank coal under a CO-containing atmosphere and properties of the prepared coal chars // Energy Fuels. 2019. Vol. 33. Iss. 7. P. 6098–6112. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00860>.
22. Ge Lichao, Zhang Yanwei, Xu Chang, Wang Zhihua, Zhou Junhu, Cen Kefa. Influence of the hydrothermal dewatering on the combustion characteristics of Chinese low-rank coals // Applied Thermal Engineering. 2015. Vol. 90. P. 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.015>.
23. Mills S. Low quality coals – key commercial, environmental and plant considerations // IEA Clean Coal Centre. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://usea.org/sites/default/files/Low%20quality%20coals%20-%20key%20commercial%2C%20environmental%20and%20plant%20considerations%20-ccc270.pdf> (20.12.2021).
24. Violidakis I., Drosatos P., Nikolopoulos N. Critical review of current industrial scale lignite drying technologies // Low-Rank Coals for Power Generation, Fuel and Chemical Production. 2017. P. 41–71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100895-9.00003-6>.
25. Мессерле В. Е., Паскалов Г., Умбеткалиев К. А.,

Устименко А. Б. Использование органических топливных добавок для повышения эффективности сжигания угля // Теплоэнергетика. 2020. № 2. С. 46–53. <https://doi.org/10.1134/S0040363620020046>.
26. Иванова И. Ю., Ноговицын Д. Д., Тугузова Т. Ф.,

Шейна З. М., Сергеева Л. П. Анализ функционирования солнечных электростанций в децентрализованной зоне Республики Саха (Якутия) // Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 10-12. С. 12–22. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.10-12.012-022>.

References

1. Fauzer V. V., Lytkina T. S., Smirnov A. V. Arctic territories differentiation by density of population and economic development. *Arktika: ekologiya i ekonomika = The Arctic: ecology and economy*. 2017;4:18-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2017-4-18-31>.
2. Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S., Dyachenko K. I. Major trends shaping development of coal industry in the world and in Russia under conditions of low-carbon energy economy: major trends. Part I. Coal sector development ratio and rates under the influence of major coal market countries. *Gornyi Zhurnal*. 2022;7:10-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.07.01>.
3. Honoré A. *Decarbonization and industrial demand for gas in Europe*. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies; 2019, 45 p. <https://doi.org/10.26889/9781784671396>.
4. Voropaj N. I. *System research in the energy sector: a retrospective review of the scientific areas of the Siberian Energy Institute – Melentiev Energy Systems Institute*. Novosibirsk: Nauka; 2010, 686 p. (In Russ.).
5. Makarov A. A., Voropaj N. I. *System research in the energy sector: methodology and results*. Moscow: Melentiev Energy Systems Institute SB RAS; 2018, 308 p. (In Russ.).
6. Makarov A. A. System research in energy sector: 50 years of hopes and 20 years in the shadows. *Izvestiya Rossijskoj Akademii nauk. Energetika*. 2014;2:3-15. (In Russ.).
7. Takaishvili L. N. Consideration of system features of coal industry as a part of fuel and energy sector when its development modeling. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2017;10:138-149. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-10-138-149>.
8. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Performance results of Russian coal industry for the period from January 2020 to December 2020. *Ugol'*. 2021;3:27-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-3-27-43>.
9. Podolyan V. I., Elisafenko T. N., Penzin Yu. P. *Coal base of Russia*. Vol. 5. Book 2. Coal basins and deposits of the Far East (Republic of Sakha (Yakutia), Northeast, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula) Moscow: Geoinformmark; 1999, 638 p. (In Russ.).
10. Tihanovskij A. N. Problems and methods of biological recultivation of technogenic-disturbed land in the Far North. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences*. 2017;2:43-47. (In Russ.).
11. Sokolov A. D., Takaishvili L. N., Petrov N. A., Pavlov N. V. Coal industry of Chukotka autonomous area: current condition and development possibilities. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;4:63-69. (In Russ.).
12. Takaishvili L. N., Agafonov G. V. Application prospects of Irkutsk region thermal coals. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2020;24(6):1271-1284. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1271-1284>.
13. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Shepeleva E. G. Small-scale coal mines in polar regions of Yakutia: state and prospects. *EKO*. 2017;2:134-145. (In Russ.).
14. Khoitunov E. A., Gavrilov V. L. Modeling of coal deposits in the polar zones of Yakutia. *Problemy nedropol'zovaniya = Problems of Subsoil Use*. 2017;4:53-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.04.053>.
15. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Khoitunov E. A., Popova K. S. Assessment of coal supply and use in the development of gold deposits in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2021;11(2):152-163. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-152-163>.
16. Filippov S. P. New technological revolution and energy requirements. *Foresight and STI Governance*. 2018;12(4):20-33. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.4.20.33>.
17. Agraniotis M., Bergins C., Stein-Cichoszewska M., Karakas E. 5 - High-efficiency pulverized coal power generation using low-rank coals. *Low-Rank Coals for Power Generation, Fuel and Chemical Production*. 2017;95-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100895-9.00005-X>.
18. Ryabov G. A., Antonenko E. V., Krutitskii I. V., Folomeev O. M., Belyaev A. V. Application of the technology of combustion of solid fuels in a circulating fluidized bed. *Power Technology and Engineering*. 2018;52:308-313. <https://doi.org/10.1007/s10749-018-0950-0>.
19. Katalambula H., Gupta R. Low-grade coals: a review of some prospective upgrading technologies. *Energy Fuels*. 2009;23(7):3392-3405. <https://doi.org/10.1021/ef801140t>.
20. Roslyakov P. V., Kondrat'eva O. E., Golovteeva A. N., Sivakovskii A. M. Optimal choice of the best available technologies for Russian thermal power plants. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2019;4:60-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0040363619040064>.
21. Ma Cheng, Zou Chong, Zhao Junxue, Shi Ruimeng, Li Xiaoming, He Jiangyong, et al. Pyrolysis characteristics of low-rank coal under a CO-containing atmosphere and properties of the prepared coal chars. *Energy Fuels*. 2019;33(7):6098-6112. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00860>.
22. Ge Lichao, Zhang Yanwei, Xu Chang, Wang Zhihua, Zhou Junhu, Cen Kefa. Influence of the hydrothermal dewatering on the combustion characteristics of Chinese low-rank coals. *Applied Thermal Engineering*. 2015;90:174-181. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.015>.
23. Mills S. Low quality coals – key commercial,

environmental and plant considerations. *IEA Clean Coal Centre*. 2016. Available from: <https://usea.org/sites/default/files/Low%20quality%20coals%20-%20key%20commercial%2C%20environmental%20and%20plant%20considerations%20-ccc270.pdf> [Accessed 20th December 2021].

24. Violidakis I., Drosatos P., Nikolopoulos N. Critical review of current industrial scale lignite drying technologies. *Low-Rank Coals for Power Generation, Fuel and Chemical Production*. 2017;41-71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100895-9.00003-6>.

25. Messerle V. E., Umbetkaliyev K. A., Paskalov G., Ushtimenko A. B. Application of organic fuel additives to enhance coal combustion efficiency. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2020;2:46-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0040363620020046>.

26. Ivanova I. Yu., Nogovitsyn D. D., Tuguzova T. F., Sheina Z. M., Sergeeva L. P. An analysis of solar power plants operation in the off-grid area of the Republic of Sakha (Yakutia). *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2018;10-12:12-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.15518/issue.2018.10-12.012-022>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Павлов Никита Владимирович,
заведующий Отделом проблем энергетики,
Институт физико-технических проблем Севера
им. В.П. Ларионова СО РАН,
677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия

Такайшвили Людмила Николаевна,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник Лаборатории
ТЭК Сибири и Дальнего Востока,
Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия

Иванова Альбина Егоровна,
ведущий инженер Отдела проблем энергетики,
Институт физико-технических проблем Севера
им. В.П. Ларионова СО РАН
677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.05.2022; одобрена после рецензирования 12.07.2022; принята к публикации 25.11.2022.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikita V. Pavlov,
Head of the Energy Problems Department,
Larionov Institute of the Physical-Technical Problems
of the North SB RAS,
1 Oktyabrskaya St, Yakutsk 677980, Russia

Lyudmila N. Takaishvili,
Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher of the Laboratory of Energy Sector
of Siberia and Far East,
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia

Albina E. Ivanova,
Leading Engineer of the Energy Problems Department,
Larionov Institute of the Physical-Technical Problems
of the North SB RAS,
1 Oktyabrskaya St, Yakutsk 677980, Russia

Contribution of the authors

The authors contributed equally to the preparation of the article.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 11.05.2022; approved after reviewing 12.07.2022; accepted for publication 25.11.2022.