

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.18>**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ АРКТИКИ**

Научная статья

**Сивцев А.И.<sup>1,\*</sup>, Сивцев Н.А.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-8386-2383;<sup>1,2</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (maraday[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Приведена общая информация по структуре децентрализованной малой энергетике Арктической зоны Республики Саха (Якутия). Показаны объемы завоза дизельного топлива и каменного угля для обеспечения электрической и тепловой энергией труднодоступных и отдаленных населенных пунктов. Предложен способ оптимизации малой энергетике путем уменьшения завоза дорогостоящего дизельного топлива за счет когенерации электрической и тепловой энергии на базе местных ископаемых углей. Когенерацию предлагается осуществить на основе применения паропоршневых двигателей с минимальными конструктивными изменениями. На примере конкретного муниципального образования показано снижение издержек за счет замещения дизельного топлива каменным углем.

**Ключевые слова:** малая энергетика, дизельное топливо, каменный уголь, паропоршневые двигатели, когенерация.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMALL-SCALE POWER GENERATION IN HARD-TO-REACH REGIONS OF THE ARCTIC**

Research article

**Sivtsev A.I.<sup>1,\*</sup>, Sivtsev N.A.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-8386-2383;<sup>1,2</sup> North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russian Federation

\* Corresponding author (maraday[at]yandex.ru)

**Abstract**

General information on the structure of decentralized small-scale power generation in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) is given. It shows the volume of diesel fuel and coal imports to provide electricity and heat to hard-to-reach and remote settlements. A way to optimize small-scale power generation by reducing the importation of expensive diesel fuel through cogeneration of electricity and heat on the basis of local mineral coal is proposed. Cogeneration is proposed to be based on the use of steam piston engines with minimal structural changes. The example of a selected municipality shows the reduction of costs due to the replacement of diesel fuel with mineral coal.

**Keywords:** small power generation, diesel fuel, mineral coal, steam piston engines, cogeneration.

**Введение**

Намечаемый в настоящее время энергетический кризис показывает доминирующую роль традиционных источников энергии и необходимость более плавного перехода к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). В Арктической зоне Республики Саха (Якутия) энергетика децентрализована и представлена в основном дизельными электростанциями, которые снабжают отдельные поселки и горнодобывающие предприятия. Можно только представить себе себестоимость производимой электроэнергии при стоимости дизельного топлива за 75 тыс. рублей и выше за тонну. Для нивелирования высоких цен за электроэнергию применяется перекрестное субсидирование между централизованным и децентрализованным электроснабжением. Наличие перекрестного субсидирования вынуждает крупные компании уходить на оптовые энергетические рынки или создавать свою генерацию, что обуславливает все большую нестабильность в энергоснабжении. При сложившейся ситуации весьма актуальным становится поиск решений по удешевлению электроэнергии в зонах децентрализованного энергоснабжения.

Целью данного исследования является предложение доступного и простого решения по удешевлению электроэнергии в Арктической зоне. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- сделать обзор структуры энергопотребления в Арктической зоне Республики Саха (Якутия)
- показать на конкретном примере уровень потребления энергоресурсов;
- предложить доступное и простое решение по удешевлению электроэнергии.

**Постановка проблемы**

Всего на обеспечение электрической и тепловой энергией труднодоступных и отдаленных населенные пункты в составе АО «Сахаэнерго» функционируют 135 дизельных станций [1]. Общая установленная электрическая мощность энергообъектов АО «Сахаэнерго» в 2020 году составляла 213,603 МВт, из них на ДЭС приходится 203,542 (таблица 1, рисунок), или 95,3%. Более 80 процентов мощности (167,2 МВт) электростанций АО «Сахаэнерго» эксплуатируется в арктических районах республики. Для нужд энергоисточников АО «Сахаэнерго» в Арктической зоне республики ежегодно необходим завоз топливно-энергетических ресурсов, в том числе: дизельного топлива до 60 000 тонн.

Таблица 1 - Мощности электростанций и котельных АО «Сахаэнерго»

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.18.1>

	Установленная мощность	
	Электрическая МВт	Тепловая, Гкал/ч
ДЭС	203,542	16,269
ВИЭ	2,561	-
Мини-ТЭЦ	7,5	68,9
Котельные	-	10,8
Всего:	213,603	95,969

В Арктической зоне Якутии 94,2% от установленной мощности децентрализованных энергосистем приходится на дизельные электростанции, 4,5% – на мини ТЭЦ и лишь 1,3% – на возобновляемые источники энергии (солнечные панели и ветровые установки).

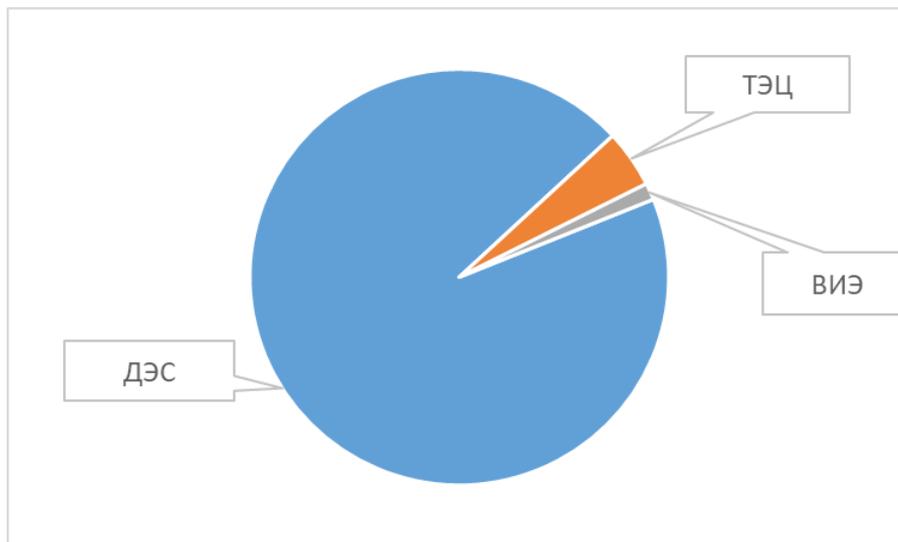


Рисунок 1 - Структура энергосистемы Арктической зоны Республики Саха (Якутия)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.18.2>

В это же время в Республике Саха (Якутия) продолжается программа по подключению жилфонда к централизованной системе теплоснабжения с использованием резервной мощности действующих котельных.

Объем внутреннего потребления угля в республике Саха (Якутия) составляет около 2,5 млн. т. [2]. Из них 300 тыс. т ежегодно потребляется на отопительных котельных арктических районов [3, С.25]. Для удешевления электроэнергии в Арктической зоне наряду с развитием и расширением ВИЭ необходимо рассмотреть возможности когенерации – комбинированной выработки электрической и тепловой энергии на основе местных энергетических сырьевых ресурсов.

#### Исследовательская часть

Решение поставленных задач осуществлялось на основе применения общенаучных методов исследования в рамках сравнительного, логического и статистического анализа литературных и справочных данных.

Безусловно, совместное производство тепловой и электрической энергии представляется более эффективной. Самым надежным и простым механизмом преобразования тепловой энергии в механическую, а затем и в электрическую является паровой двигатель. Часть тепловой энергии генерируемой для централизованного отопления можно перенаправить на производство электричества.

На примере села Эбях Среднеколымского улуса рассмотрим возможный эффект от когенерации электричества и тепловой энергии. Село находится в 160-165 км к северо-западу от города Среднеколымска. Транспортное сообщение с райцентром осуществляется по автозимнику и вертолетами МИ-8 летом и во время распутицы.

Всего на 01.01.2021 года в селе проживало 453 человек составляющие 131 домохозяйств. Из них к центральному отоплению подключено 125 частных домов и несколько административных зданий. За анализируемый 2021 год для обеспечения тепло-электроэнергией села Эбях было доставлено 230 тонн дизельного топлива и 2014,46 тонн каменного угля. Отопительный сезон имеет продолжительность, как и во всех северных районах Республики Саха (Якутия), минимум 8 месяцев в году.

При этом каменный уголь доставляется из относительно близкого Зырянского угольного бассейна. Данное обстоятельство обуславливает относительно невысокую долю расходов на доставку и хранение в структуре стоимости угля на месте потребления. По данным работы [4, С.8] для Нижнеколымского района расходы на доставку и хранение

Зырянского угля не превышают 50 % от конечной стоимости угля и делает его привлекательным видом топлива для Колымской группы районов. Для сравнения для Янской группы районов расходы на транспортировку и хранения составляют более 80-85% от конечной стоимости угля на месте потребления [4, С.9]. Дизельное топливо для электростанции (ДЭС) доставляется по сложной многоступенчатой логистической цепочке из-за пределов Республики Саха (Якутия), что негативно отражается на его себестоимости.

Для сокращения объемов доставки дорогостоящего дизельного топлива предлагается рассмотреть вариант перехода на паропоршневые двигатели для совместной выработки электроэнергии и тепла на базе угольного сырья. Так, научная группа «Промтеплоэнергетика» МАИ, предлагает оригинальное решение вопроса экономически целесообразного применения паропоршневых машин в малой и децентрализованной энергетике [5, С.86], [6, С.22].

Разработчики предлагают создавать паропоршневые двигатели (ППД) на базе серийно выпускаемых дизельных поршневых двигателей. В конструкции ДВС сохраняется почти весь механизм газораспределения, который в ППД становится механизмом парораспределения, также сохраняется кривошипно-шатунный механизм. Подобный подход обеспечивает низкую стоимость парового двигателя, благодаря тому, что в производстве используются серийные двигатели и запчасти к ним [5], [6].

Кроме того, применение ППД позволит утилизировать часть твердых коммунальных отходов путем их сжигания.

ППД могут работать в широком диапазоне давлений свежего пара – от 0,5 до 4,0 МПа при его температурах до 440 °С. По частоте вращения коленчатого вала ППД могут развивать до 3000 об/мин! [7] В ППД, соединенном с электрогенератором, пар подается от котла, а выхлоп осуществляется в пароводяной теплообменник. ППД обладают высокой надежностью, чем у исходных ДВС (30 000-100 000 ч), т. к. пар при работе двигателя, в отличие от горючей смеси, не взрывается, а расширяется и плавно давит на поршень [7]. ППД могут обслуживаться теми же специалистами, которые обслуживают ДВС, а текущий ремонт можно производить прямо на месте эксплуатации.

Таким образом, когенерация тепловой и электрической энергии на базе угольного сырья позволит уменьшить доставку дорогостоящего дизельного топлива только в рассмотренном поселке с 230 тонн до 76,7 тонн в год (4 летних месяца), что в денежном выражении составит 13,5 млн. рублей экономии при цене дизельного топлива 75 рублей за 1 литр. При этом целесообразно сохранить ДЭС для выработки электроэнергии в летнее время и как резерв при внештатных ситуациях.

Надо заметить, в Арктических районах имеется принципиальная возможность производства жидкого моторного топлива из бурого угля. В настоящее время в Арктической зоне Республики Саха (Якутия) открыты и в различной степени разведаны десятки месторождений каменного и бурого угля [4, С.4]. В отечественной и мировой практике накоплен значительный опыт получения из бурых углей жидких видов топлива [8], [9], [10]. Рост цен на нефтепродукты из-за увеличения себестоимости добычи нефти и большие расходы на транспортировку в условиях отсутствия стабильных транспортных схем могут сделать уголь перспективным сырьем для производства жидкого топлива в отдаленных районах Арктики.

### **Заключение**

В работе впервые сделана попытка упрощенной оценки эффективности когенерации энергии для конкретно взятого объекта исследования в Арктической зоне Республики Саха (Якутия).

В обозримом будущем зона автономного электроснабжения Арктической зоне Республики Саха (Якутия) сохранится в силу больших расстояний между населенными пунктами и слабой транспортной инфраструктуры. Потребители будут продолжать обеспечиваться электроэнергией от локальных энергоисточников малой мощности, в основном, дизельных электростанций. Отсутствие крупных потребителей на этих территориях не позволяет строительство энергоисточников большой установленной мощности.

Централизованное теплоснабжение также сохранится в крупных населенных пунктах Арктической зоны Якутии, а в малочисленных селениях целесообразно использовать установки, позволяющие одновременно вырабатывать тепловую и электрическую энергию. Для этих целей идеально подходят паропоршневые двигатели на основе классических двигателей внутреннего сгорания с минимальными конструктивными изменениями.

Применение паропоршневых двигателей позволит оптимизировать расходы на доставку и хранение большого объема дизельного топлива и укрепит энергобезопасность отдаленных населенных пунктов Арктической зоны.

### **Финансирование**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-510-22001)

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### **Funding**

The work was carried out with the financial support of the RFBR (grant No. 21-510-22001).

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### **Список литературы / References**

1. О схеме и программе развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2021 - 2025 годы : Указ Главы Республики Саха (Якутия) от 29 апреля 2021 года №1840.

2. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года. – Якутск ; Иркутск : Якутия, 2010. – 328 с.
3. Кузьмин А.Н. Малая энергетика Севера Якутии: проблемы и перспективы развития / А.Н. Кузьмин, Е.Ю. Михеева.– Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. – 160 с.
4. Батугина Н.С. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности её освоения / Н.С. Батугина, В.Л. Гаврилов, Е.А. Хоютанов и др. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2014. – № 4 (76). – С. 5-11.
5. Дубинин В.С. Совершенствование систем энергоснабжения в газифицированных регионах России на базе поршневых технологий: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 защищена 26.06.13 : утв. 24.12.13 / Дубинин Владимир Сергеевич, НИУ «МЭИ». – М., 2013. – 242 с.
6. Кропачев А.М. Паропоршневые технологии в малых когенерационных установках / А.М. Кропачев // Аква-Терм. – 2017. – № 6(100). – С. 20-23.
7. Крейнин Е.В. Перспективы производства синтетических моторных топлив из угля путем его подземной газификации / Е.В. Крейнин, И.И. Дробыш, А.Л. Лапидус и др. // Газовая промышленность. – 2011. – №3 (657). – С.65-67.
8. Набиев М.А. Газификация угля и получения газа для синтеза моторных топлив / М.А. Набиев, Б.Т.Л.Л. Ермафамбет, Н.С. Бектурганов и др. // Инновации в науке. – 2015. – № 51-1. – С. 150-155.
9. Царьков А.Н. Разработка технологии получения синтетических видов моторного топлива из бурого угля / А.Н. Царьков // Известия Института инженерной физики. – 2007. – № 4 (6). – С.59-63.
10. Романова Е.Д. Развитие технологии получения синтетических и альтернативных моторных топлив / Е.Д. Романова, И.Д. Романов, В.А. Васильев и др. // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – №6. – С.81-83.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. O skheme i programme razvitiya elektroenergetiki Respubliki Saha (Yakutiya) na 2021 - 2025 gody [About the scheme and program for the development of the electric power industry of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2021-2025] : Decree of the Head of the Republic of Sakha (Yakutia) dated April 29, 2021 No. 1840. [in Russian]
2. Energeticheskaya strategiya Respubliki Saha (Yakutiya) na period do 2030 goda [Energy strategy of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period up to 2030]. – Yakutsk ; Irkutsk : Yakutiya, 2010. – 328 p. [in Russian]
3. Kuz'min A.N. Malaja jenergetika Severa Jakutii: problemy i perspektivy razvitiya [Small power industry of the North of Yakutia: problems and prospects of development] / A.N. Kuz'min, E.Ju. Miheeva.– Jakutsk : Publishing House of the YANC SB RAS, 2009. – 160 p. [in Russian]
4. Batugina N.S. Ugol'nye mestorozhdenija arkticheskoy zony Jakutii i Chukotki: sostojanie syr'evoy bazy i vozmozhnosti ejo osvoenija [Coal deposits of the Arctic zone of Yakutia and Chukotka: the state of the raw material base and the possibilities of its development] / N.S. Batugina, V.L. Gavrilov, E.A. Hojutanov et al. // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики [Natural resources of the Arctic and Subarctic]. – 2014. – № 4 (76). – P. 5-11. [in Russian]
5. Dubinin V.S. Sovershenstvovanie sistem jenergosnabzhenija v gazificirovannyh regionah Rossii na baze porshnevnyh tehnologij [Improvement of energy supply systems in gasified regions of Russia based on piston technologies]: dis. ... of PhD in Engineering : 05.14.01 : defense of the thesis 26.06.13 : approved 24.12.13 / Dubinin Vladimir Sergeevich, NIU "MEI". – М., 2013. – 242 p [in Russian]
6. Kropachev A.M. Paroporshnevye tehnologii v malyh kogeneracionnyh ustanovkah [Steam piston technologies in small cogeneration plants] / A.M. Kropachev // Akva-Term. – 2017. – № 6(100). – P. 20-23. [in Russian]
7. Krejnin E.V. Perspektivy proizvodstva sinteticheskikh motornyh topliv iz uglja putem ego podzemnoj gazifikacii [Prospects for the production of synthetic motor fuels from coal by underground gasification] / E.V. Krejnin, I.I. Drobysch, A.L. Lapidus et al. // Gazovaja promyshlennost' [Gas industry]. – 2011. – № 3 (657). – P. 65-67. [in Russian]
8. Nabiev M.A. Gazifikacija uglja i poluchenija gaza dlja sinteza motornyh topliv [Gasification of coal and gas production for the synthesis of motor fuels] / M.A. Nabiev, B.T.L.L. Ermafambet, N.S. Bekturganov et al. // Innovacii v nauke [Innovations in science]. – 2015. – № 51-1. – P. 150-155. [in Russian]
9. Car'kov A.N. Razrabotka tehnologii poluchenija sinteticheskikh vidov motornogo topliva iz burogo uglja [Development of technology for the production of synthetic motor fuels from brown coal] / A.N. Car'kov // Izvestija Instituta inzhenernoj fiziki [Proceedings of the Institute of Engineering Physics]. – 2007. – № 4 (6). – P. 59-63. [in Russian]
10. Romanova E.D. Razvitie tehnologii poluchenija sinteticheskikh i al'ternativnyh motornyh topliv [Development of technology for the production of synthetic and alternative motor fuels] / E.D. Romanova, I.D. Romanov, V.A. Vasil'ev et al. // Al'ternativnaja jenergetika i jekologija [Alternative energy and ecology]. – 2011. – № 6. – P. 81-83. [in Russian]