Проблемы обеспечения твердым топливом арктических районов Якутии и их решения на основе потенциального освоения местной сырьевой базы

Владислав Игоревич ФЕДОРОВ*

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Россия, Якутск

Аннотация

Актуальность. В мире резко возрос интерес науки и практики к масштабному освоению субарктических и арктических территорий, в частности российского Дальнего Востока и Сибири. Предприятия угольной отрасли в удаленных и труднодоступных районах региона в условиях сильной междутопливной конкуренции сталкиваются с необходимостью всестороннего повышения эффективности производства. Успешному решению этих задач противодействует комплекс неблагоприятных факторов, которые по сравнению с регионами традиционного недропользования значительно удорожают любую деятельность и определяют высокое удельное потребление энергии в условиях повышенных рисков различной природы. Наиболее ярко они проявляются в северных районах Республики Саха (Якутия) с их экстремальными природно-климатическими условиями, где из-за одновременного действия низкого уровня развития инфраструктуры; очень сложной логистики; сезонности и несоответствия сроков доставки грузов водным и автомобильным транспортом; разбросанности по огромной площади малого количества населенных пунктов и др. происходит резкое усложнение условий нормального обеспечения всеми видами используемых ресурсов. Приоритетами здесь являются обеспечение нормальной жизнедеятельности местного населения и повышение энергетической и экологической безопасности при приемлемой экономической и социальной эффективности.

Цель работы: обосновать необходимость и возможности корректировки геотехнологических решений при разработке угольных месторождений разрезами малой и сверхмалой мощности при их функционировании в составе локальных топливно-энергетических комплексов для повышения эффективности и безопасности поставок в труднодоступные удаленные районы и улучшения качества отгружаемого угля.

Методы исследований. Обобщение и анализ научно-технической литературы. Методом аналогии выполнен выбор критериев для создания микроразрезов по добыче угля в арктических районах Якутии и эффективности их внедрения в систему обеспечения твердым топливом потребителей труднодоступных районов.

Результаты исследований. Предлагается схема поставок твердого топлива, удовлетворяющая потребности в угле отдаленных районов Якутии, которая основана на концепции создания новых локальных малых угольных разрезов вблизи потребителей взамен существующей дорогостоящей, сложной и ненадежной схемы. Представлен комплекс геотехнических критериев и граничных условий, ориентируемых на малые угольные разрезы, на основе которых можно раскрыть ресурсосберегающие, технические и технологические возможности цепи, экономически приемлемые и экологически эффективные разработки угольных месторождений. Оптимизация звеньев может быть результатом немедленной горизонтальной и вертикальной интеграции небольших открытых разрезов в цепочке поставок угля потребителям.

Выводы. Разработка локальных месторождений является одним из направлений повышения стабильности работы цепи поставок твердого топлива потребителям, а также энергетической безопасности труднодоступных северных районов Якутии и поддержки их экономического и социального развития.

Ключевые слова: малый угольный разрез, труднодоступные районы, добыча полезных ископаемых, логистика, локальные угольные месторождения, геотехнология.

Введение

Уголь остается одним из основных видов топливно-энергетических ресурсов, используемых в жилищно-коммунальном хозяйстве труднодоступных арктических районов Якутии. На производство тепловой энергии в муниципальных котельных при слоевом способе сжигания применяется завозимый из других районов каменный уголь. Данная технология сжигания топлива может обеспечить полноту сгорания, эффективность и экологическую безопасность только при использовании угля, отвечающего предъявляемым к установленному оборудованию

требованиям. Проведенные ранее анализы показали, что за последние десять лет работы цепи поставок твердого топлива (рис. 1) произошли несколько крупных чрезвычайных ситуаций и сбоев отопительного сезона, при этом происходят ежегодные качественные и количественные потери угля и тепловой энергии [1, 2]. Добываемое топливо на угольных разрезах Якутии претерпевает ряд негативных качественных трансформаций при добыче и доставке его навалом в отдаленные энергоизолированные районы [3, 4]. Для повышения безопасности поставок

*fonariwe@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7138-4951>

Рисунок 1. Основные маршруты доставки угля в арктические районы Якутии.
Figure 1. Main routes for coal delivery to the Arctic regions of Yakutia.

угля в районы арктической зоны и улучшения качества отгружаемого твердого топлива необходимо рассмотреть и обосновать возможности корректировки геотехнологических и логистических решений при отработке местных угольных месторождений разрезами малой и сверхмалой мощности при их функционировании в составе локальных топливно-энергетических комплексов Якутии [5].

Анализ существующей схемы обеспечения твердым топливом отдаленных районов Якутии

Для удовлетворения потребностей в угле в центральной и полярной Якутии ведется добыча на 6 разрезах [6]. Мощность каждого из них находится в пределах 25–160 тыс. т в год (рис. 2) и ограничена общей минимальной емкостью локального рынка, оцениваемой в 0,9–1,2 млн т в год [7, 8]. Разрезы характеризуются ярко выраженной сезонностью потребления (зима), частым отсутствием круглогодичного транспортного обеспечения. Сроки доставки топлива доходят до 2,0–2,5 лет в полярные районы, цена угля на месте потребления до 4–5 раз больше, чем на месте его добычи [9]. Предприятия сильно зависят от государственного заказа на уголь, который хотя и способствует преодолению кризиса неплатежей и повышению загруженности предприятий, но не дает необходимых финансовых ресурсов для их нормального функционирования [10]. Возможности привлечения дополнительных инвестиций для малых предприятий в силу ряда причин ограничены [11]. Из-за ограниченного числа поставщиков вопросам повышения качества угля уделяется мало внимания. Действующими в интересах добывающих предприятий нормативными документами предусмотрена по-

ставка только необогащенного угля [12]. Для отгружаемых углей установлены только предельные значения размеров куска (0–300 мм), зольности A^d , %, и общей влаги в рабочем состоянии топлива W_t' , %. В требованиях практически не учитываются технологии сжигания топлива в котельных предприятий и бытовых печах [13]. Максимальные сроки хранения угля после добычи определены в 6 (бурый) и 12 месяцев (каменный), что при сложной логистике значительно меньше фактических значений. Выходной контроль качества топлива часто осуществляется формально, входной контроль у потребителей, как правило, отсутствует. В гранулометрическом составе сжигаемого угля после многочисленных перевалок преобладают мелкие классы. Зольность и теплота сгорания отгружаемого угля варьируют от партии к партии. Фактическая средняя зольность угля может переходить предельно допустимый уровень. Не контролируется ряд показателей качества, важных для оценки эффективности сжигания углей в слоевых топках, особенно с ручным обслуживанием (гранулометрический состав, теплота сгорания топлива на месте потребления; однородность по разным показателям во времени).

Анализ научно-технической литературы показывает, что относительно высокие теплотехнические показатели достигаются при сжигании угля с крупностью кусков, превышающих размер ячеек колосниковой решетки. При одной и той же потребности в тепле расход рядового и сортового угля на ее получение сильно различается. Одна тонна условного топлива может быть замещена соответственно 4,34 т и 2,65 т угля. То есть сортового топлива для получения одного и того же количества тепла требуется в

Рисунок 2. Добыча угля в центральных и северных районах Якутии, тыс. т.
Figure 2. Coal mining in the central and northern regions of Yakutia, ths tons

количественном выражении в 1,6–1,7 раза меньше [14]. В результате выполненных на Алтае исследований установлено, что при разных уровнях нагрузки удельные расходы угля в котлах со слоевым типом сжигания увеличиваются на величину от 0,2 до 0,9 % пропорционально увеличению на 1 % содержания в угле мелких классов (менее 10 мм). Это имеет отношение и к новому применяемому оборудованию, и к эксплуатируемому длительное время [15]. Утилизация рядового угля с высоким содержанием мелких фракций вместо сортового ведет к снижению КПД котлов с 64–73 % до 23–35 %, а перерасход угля составляет 50–100 %. Увеличение объемов добычи обходится в 3–10 раз дороже, чем повышение эффективности использования классифицированных, обогащенных углей [16].

Критерии создания микроразрезов по добыче угля и эффективности их внедрения в систему обеспечения твердым топливом потребителей в труднодоступных районах Якутии

При разработке проектов и создании в труднодоступных районах Якутии микроразрезов по добыче угля целесообразно использовать синтезированные в единое целое основные технические, технологические и организационные подходы и решения. Часть из них апробирована горными предприятиями, работающими на Крайнем Севере. Представленный несколькими блоками комплекс ориентирует малые предприятия на ресурсосберегающее, экономически и экологически приемлемое освоение новых месторождений или их участков.

Блок 1. Выбор месторождения/участка для добычи угля открытым способом. Расстояние до потребителей или транспортных коммуникаций $L \rightarrow \min$, км. Мощность вскрышных работ 0–20 м; коэффициент вскрыши $K_v \sim 1$ –1,5 м³/т с повышением до экономически приемлемого уровня. Геометрия участка – простая. Объем запасов для первоочередной отработки – 500–700 тыс. т и более. Глу-

бина залегания $H \rightarrow \min$, м. Требуется доразведка и переоценка запасов участка.

Блок 2. Горные работы. Мощность разреза $P = 20$ –100 тыс. т/год. Срок отработки – не менее 7–10 лет. Объем горно-капитальных работ – минимальный. Проектирование – унифицированные проекты с типовыми решениями. Параметры систем разработки – из типовых схем с учетом работы аналогичных разрезов. Рыхление пород – взрывное, угля – преимущественно механическое.

Блок 3. Оборудование. Дизельные, самоходные и максимально унифицированные гидравлические экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, автосамосвалы. Электроснабжение – автономные дизельные электростанции. Техническое обслуживание, текущий и средний ремонт – собственные силы с плановой заменой крупными узлами.

Блок 4. Организация работ и управление. Интеграция участников цепочек поставок – вертикальная или горизонтальная, в том числе в составе локальных топливно-энергетических комплексов. Основной персонал – вахта. Привлечение местного населения – частичное, исходя из его квалификации. Система налогообложения – упрощенная с льготами на период строительства и выхода на проектную мощность. Геолого-маркшейдерское обеспечение, буровзрывные работы – аутсорсинг. Финансовое управление и учет – аутсорсинг или работа в составе вертикально-интегрированной компании. Режим работы – максимальное использование теплого времени года (2–3 квартал).

Обсуждение результатов

Сложные цепочки добычи и транспортировки угля, выработки из него тепловой и электрической энергии в труднодоступных районах Якутии требуют совершенствования. Корректировка применяемых для оценки эффективности цепочек поставок критериев для согласования интересов всех сторон позволяет рассматривать их как единые системы управления, в том числе качеством

Рисунок 3. Цепочка поставок угля с сортировочным комплексом и без использования морского транспорта.
Figure 3. Coal supply chain with a sorting complex and without the use of sea transport.

угля, где разрезы выступают базовыми элементами. Для повышения потребительских свойств угля предлагается организовать на добывающих предприятиях его дополнительную подготовку к длительной транспортировке и сжиганию. Мероприятия включают операции по картированию запасов по сортам, усреднению качества угля в потоках и на складах, сортировке топлива по классам крупности, использованию мягкой тары для перевозки в самые удаленные районы.

Результатом реализации разработанных подходов может стать формирование новых цепочек поставок угля, например, на базе Краснореченского месторождения в бассейне реки Индигирки (рис. 3). Реализация проекта приведет к исключению из цепочки поставок морского транспорта и нескольких трудоемких перевалок угля, снижению потерь угля по количеству и качеству. Значительно уменьшатся расстояния транспортирования (до 1500 км)

Благодарности

Авторы выполняли работу в рамках РФФИ:3. Разработать рекомендации для модернизации действующих и проектирования новых технологических цепочек разведки месторождений угля, его добычи и поставок потребителям в труднодоступные районы.

и сроки доставки угля (с 2–2,5 лет до нескольких месяцев). Также реализация проекта будет способствовать снижению стоимости местного угля на месте потребления до 2–3 раз по сравнению с привозным.

Заключение

Создание новых микроразрезов на месторождениях, находящихся максимально близко от мест потребления угля, необходимо осуществлять на основе синтезированных принципов и подходов, ориентирующих предприятия на ресурсосберегающее, технологически, экономически и экологически эффективное освоение недр, а цепочки поставок угля – на повышение энергетической безопасности труднодоступных районов Якутии. Для предприятий, которые добывают уголь в регионе, получение прибыли может быть не основной целью. Необходимость их существования может иметь в большей степени социальное, чем коммерческое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якутия направит 400 млн рублей на создание резервных запасов топлива в труднодоступных улусах. URL: <https://news.ykt.ru/article/40135>
2. Федоров В. И., Гаврилов В. Л. Технологические схемы добычи и подготовки угля с учетом его использования в труднодоступных районах Якутии. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26934268>
3. Федоров В. И., Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А. Схемы качественно-количественной трансформации угля при добыче и подготовке к поставкам удаленным потребителям // Успехи современного естествознания. 2017. № 9. С. 102–107.
4. Захаров В. Е., Прохоров Д. В., Гаврилов В. Л. Потери энергетической ценности рядового угля при доставке до арктических потребителей Республики Саха (Якутия) // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 5-6. С. 13–22.
5. Ivanova A. E., Zakharov V. E., Petrova T. N. The Issue of Electricity Subsidizing in the Arctic zone of Sakha Republic (Yakutia) // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, Russia, 2019. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934234>
6. Ткач С. М., Гаврилов В. Л. О влиянии технологических цепочек «георесурс–потребитель» на потери угля при энергообеспечении полярных районов Якутии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. № 3. Т. 1. С. 213–218.
7. Гаврилов В. Л., Ткач С. М., Федоров В. И., Батугина Н. С. Геотехнологические аспекты освоения угольных месторождений арктических районов Якутии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. № 1. С. 79–85.
8. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А., Федоров В. И. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности ее освоения // Наука и образование. 2014. № 4. С. 5–11.
9. Ткач С. М., Гаврилов В. Л., Батугина Н. С., Хоютанов Е. А., Федоров В. И. Геотехнологические требования к созданию малых угольных разрезов в заполярной зоне Якутии // ГИАБ. 2015. № 7 (Спец. вып. № 30). С. 152–162.
10. Схема комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Республики Саха (Якутия) до 2020 года. М.: СОПС, 2010. 400 с
11. Efremov E. I., Nikiforova V. V. Innovate approach to the industrial development of georesources in the Arctic zone of the Sakha Republic (Yakutia) // Journal L'Association 1901 SEPIKE. 2015. № 8. P. 65–69. URL: http://media.wix.com/ugd/b199e2_8187266cda364d2b9ff0eff1dd65d7fb.pdf
12. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года / под ред. Н. А. Петрова, Б. Г. Санеева, Г. Ф. Алексеева и др. Правительство Респ. Саха (Якутия). Якутск; Иркутск: Медиа-холдинг «Якутия» и др., 2010. 328 с.
13. ГОСТ 32345–2013. Угли Якутии для энерготехнологических целей. Технические условия (переиздание). Введ. 2015-01-01. М., 2015. 6 с.
14. Маутина А. А., Шилкина О. О. Особенности использования углей Канско-Ачинского бассейна // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2002. № 1-2. С. 62–67.
15. Переясловский И. В., Степаненко С. А., Осокин С. Е. Выбор энергоэффективного угольного топлива. URL: <http://www.energsovet.ru/stat828.html>
16. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Шепелева Е. Г. Малые угледобывающие предприятия в заполярных районах Якутии // ЭКО. 2017. № 2. С. 134–145.

Статья поступила в редакцию 30 апреля 2020 года

Issues of providing solid fuel to the Arctic regions of Yakutia and their solutions based on the potential development of the local raw material base

Vladislav Igorevich FEDOROV*

N. V. Chersky Mining Institute of the north of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia

Abstract

Relevance. The interest of science and practice in the large-scale development of subarctic and arctic territories, in particular the Russian Far East and Siberia, has sharply increased in the world. Coal enterprises in remote and inaccessible areas of the region in the face of intense inter-fuel competition are faced with the need to comprehensively increase production efficiency. The successful solution of these problems is counteracted by a complex of unfavorable factors, which, compared with the regions of traditional subsoil use, significantly increase the cost of any activity and predetermine high specific energy consumption in conditions of increased risks of various nature. They are most pronounced in the northern regions of the Republic of Sakha (Yakutia) with their extreme natural and climatic conditions, where due to the simultaneous effect of the low level of infrastructure development; very complex logistics; seasonality and discrepancies in the delivery of goods by water and road; scattered across a huge area of a small number of settlements, etc. there is a sharp complication of the conditions for the normal provision of all types of resources used. The priorities here are normal functioning of the local population, improving energy and environmental safety with acceptable economic and social efficiency.

Purpose of the work: to substantiate the need and the possibility of adjusting geotechnological solutions when mining coal deposits with open pits of small and ultra-low thickness when they operate as part of local fuel and energy complexes to increase the efficiency and safety of deliveries to remote areas and improve the quality of coal shipped.

Method of research. Generalization and analysis of scientific and technical literature. Using the method of analogy the selection of criteria for creation of micro-sections for coal mining in the Arctic regions of Yakutia and the effectiveness of their implementation in the system of providing solid fuel to consumers in hard-to-reach areas were made.

Research results. A solid fuel supply scheme is proposed that meets the coal needs of remote areas of Yakutia, which is based on the concept of creating new local small coal mines near consumers to replace the existing expensive, complex and unreliable scheme. A complex of geotechnical criteria and boundary conditions oriented to small coal openings is presented, on the basis of which it is possible to reveal resource-saving, technical and technological capabilities of the chain, economically acceptable and environmentally efficient development of coal deposits. Link optimization can result from the immediate horizontal and vertical integration of small open cuts in the coal supply chain to consumers.

Conclusions. The development of local deposits is one of the ways to increase the stability of the solid fuel supply chain to consumers, as well as the energy security of the inaccessible northern regions of Yakutia and support their economic and social development.

Keywords: small coal mine, hard-to-reach areas, mining, logistics, local coal deposits, geotechnology.

Acknowledgments

The authors performed work within the framework of the The Russian Foundation for Basic Research: 3. To develop recommendations for the modernization of existing and designing new technological chains for the exploration of coal deposits, its extraction and supply to consumers in remote areas.

REFERENCES

1. Yakutia will allocate 400 million rubles to create reserve fuel reserves in remote ulus. URL: <https://news.ykt.ru/article/40135>
2. Fedorov V. I., Gavrilov V. L. *Tekhnologicheskiye skhemy dobychi i podgotovki uglya s uchetom yego ispol'zovaniya v trudnodostupnykh rayonakh Yakutii* [Technological schemes for the extraction and preparation of coal, taking into account its use in remote areas of Yakutia]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26934268>
3. Fedorov V. I., Gavrilov V. L., Khoyutyanov E. A. 2017, Schemes for the qualitative and quantitative transformation of coal during mining and preparation for deliveries to remote consumers. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], no. 9, pp. 102–107. (In Russ.)
4. Zakharov V. E., Prokhorov D. V., Gavrilov V. L. 2013, Losses in the energy value of raw coal during delivery to the Arctic consumers of the Republic of Sakha (Yakutia). *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki* [Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems], no. 5–6, pp. 13–22. (In Russ.)
5. Ivanova A. E., Zakharov V. E., Petrova T. N. 2019, The Issue of Electricity Subsidizing in the Arctic zone of Sakha Republic (Yakutia). 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934234>

*fonariwe@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7138-4951>

6. Tkach S. M., Gavrilov V. L. 2016, On the influence of georesource – consumer technological chains on coal losses during energy supply to the polar regions of Yakutia. *Fundamental'nyye i prikladnyye voprosy gornykh nauk* [Journal of fundamental and applied mining sciences], Vol. 1. pp. 213–218. (In Russ.)
7. Gavrilov V. L., Tkach S. M., Fedorov V. I., Batugina N. S. 2014, Geotechnological aspects of the development of coal deposits in the Arctic regions of Yakutia. *Fundamental'nyye i prikladnyye voprosy gornykh nauk* [Journal of fundamental and applied mining sciences], no. 1. pp. 79–85. (In Russ.)
8. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Khoyutanov E. A., Fedorov V. I. 2014, Coal deposits of the Arctic zone of Yakutia and Chukotka: the state of the raw material base and the possibilities of its development. *Nauka i obrazovaniye* [Science and education], no. 4, pp. 5-11. (In Russ.)
6. Tkach S. M., Gavrilov V. L., Batugina N. S., Khoyutanov E. A., Fedorov V. I. 2015, Geotechnological requirements for the creation of small coal mines in the polar zone of Yakutia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], no. 7 (Special Issue no. 30). pp. 152-162. (In Russ.)
10. 2010, *Skhema kompleksnogo razvitiya proizvoditel'nykh sil, transporta i energetiki Respubliki Sakha (Yakutiya) do 2020 goda* [Scheme for the comprehensive development of productive forces, transport and energy of the Republic of Sakha (Yakutia) until 2020]. Moscow, 400 p.
11. Efremov E. I., Nikiforova V. V. 2015, Innovate approach to the industrial development of georesources in the Arctic zone of the Sakha Republic (Yakutia). *Journal L'Association 1901 SEPIKE*. no. 8. , pp. 65–69. URL: http://media.wix.com/ugd/b199e2_8187266cda364d2b9ff0eff1dd65d7fb.pdf
12. 2010, *Energeticheskaya strategiya Respubliki Sakha (Yakutiya) na period do 2030 goda* [Energy strategy of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period until 2030]. Ed. by Petrov, B. G. Saneev, G. F. Alekseyev et al. The Government of the Resp. Sakha (Yakutia). Yakutsk, 328 p.
13. GOST 32345-2013. 2015, *Ugli Yakutii dlya energotekhnologicheskikh tseley* [Coals of Yakutia for energy technology purposes], Technical conditions (reedition). 2015-01-01. Moscow, 6 p.
14. Martina A. A., Shilkina O. O. 2002, Features of the use of coals of the Kansk-Achinsk basin. *Mineral'nyye resursy Rossii* [Mineral resources of Russia. Economics and management]. no. 1-2. pp. 62–67. (In Russ.)
15. Pereyaslovsky I. V., Stepanenko S. A., Osokin S. E. Choosing an energy-efficient coal fuel. URL: <http://www.energosovet.ru/stat828.html>
16. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Shepeleva E. G. 2017, Small coal mining enterprises in the polar regions of Yakutia. *EKO* [ECO], no. 2, pp. 134–145. (In Russ.)

The article was received on April 30, 2020