

## Повышение экологичности и эффективности городской системы теплоснабжения с использованием водоугольного топлива

**В. И. Мурко,**

*Сибирский государственный индустриальный университет, доктор технических наук, профессор*

**О. П. Черникова,**

*Сибирский государственный индустриальный университет, кандидат экономических наук, доцент*

С целью решения проблем системы теплоснабжения на примере Ленинск-Кузнецкого городского округа предлагается проект генерации тепла Беловской ГРЭС, который позволит отказаться от строительства новых котельных взамен малоэффективных действующих. В рамках реализации данного проекта предлагается использовать частичное, совместное с основным пылеугольным топливом сжигание водоугольного топлива. Такое техническое решение позволит получить значительный экономический эффект и повысить экологическую безопасность ГРЭС, при этом не повлияет на тепловой баланс котельных агрегатов и не потребует их реконструкции. Суммарный экономический эффект от реализации предлагаемого проекта составит более 1,1 млрд руб. в год.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, уголь, водоугольное топливо, отходы подготовки угля.

Одним из основных стратегических трендов мировой системы хозяйствования является обеспечение существенного снижения техногенной нагрузки на окружающую среду с ее сохранением в благоприятном для жизнедеятельности человека состоянии [1–4]. Проблемы экологической составляющей устойчивого развития отраслей и комплексов на протяжении длительного времени находятся в фокусе внимания исследователей [5–12]. В частности, ищутся пути повышения технической, экологической и экономической эффективности использования угля. На местном уровне для обеспечения теплом коммунальных и промышленных потребностей используются котельные с неэффективным слоевым сжиганием угля, которые зачастую практически полностью выработали свой ресурс. Эффективно использовать энергетическую ценность угля с учетом роста доли возобновляемых источников в мировом энергобалансе и развитие водородной энергетики, а также инфраструктурных и логистических ограничений развития угольной отрасли в условиях пандемии, смогут только технологии комплексной переработки и выпуск углехимических продуктов с высокой добавленной стоимостью.

На момент принятия Комплексной программы социально-экономического развития Ленинск-Кузнецкого городского округа до 2025 года (решение городского Совета народных депутатов № 123 от 23.12.2010 г.) потребности в тепловой энергии населения территории обеспечивали 21 муниципальная и 2 ведомственные котельные, в том числе 22 котельные оказывали услуги по отоплению и горячему водоснабжению на территории города, одна муниципальная котельная отапливала жилой фонд и учреждения социальной сферы поселка Никитинский.

Теплоснабжение г. Ленинска-Кузнецкого осуществлялось через 5 бойлерных, 2 насосных станции и 7 центральных тепловых пунктов, в которых установлено 44 теплообменника. В 7 котельных полностью механизированы процессы подачи топлива и удаления шлака, остальные котельные оснащены топками с ручным удалением шлака, 9 котельных оборудованы установками химводоочистки. Физический износ зданий котельных и бойлерных города составляет 62 % (у 5 из 21 котельной износ 100 %). Физический износ оборудования котельных достигает 64 %. Ориентировочное потребление тепла в г. Ленинске-Кузнецком составляет 750 тыс. Гкал/год, или около 150 Гкал/ч.

В связи со значительным износом котельного оборудования и тепловых сетей потери тепловой энергии при ее производстве и транспортировке превышают 20 % при установленных нормативных потерях 12 %. Аналогичное состояние объектов теплоснабжения характерно и для г. Полысаево.

С целью решения энергетических, экономических и экологических проблем системы теплоснабжения Ленинск-Кузнецкого городского округа авторским коллективом предлагается проект генерации тепла Беловской ГРЭС, что позволит отказаться от строительства новых котельных взамен малоэффективных действующих. Установленная мощность Беловской ГРЭС составляет 1260 МВт, тепловая – 229 Гкал/ч.

В рамках реализации рассматриваемого проекта предлагается использовать частичное, совместное с основным пылеугольным топливом, сжигание водоугольного топлива (ВУТ) в котлах ПК-40 в количестве до 25 % (по выделяемой теплоте сгорания). Такое техническое решение позволит получить значитель-

ный экономический эффект и повысить экологическую безопасность ГРЭС, при этом не повлияет на тепловой баланс котельных агрегатов и не потребует их реконструкции.

Такой вид топливного ресурса, как водоугольное топливо, достаточно изучен в отечественной и мировой практике [13–17]. Первая опытно-промышленная установка по приготовлению ВУТ была реализована при Беловской ГРЭС (г. Белово, Кемеровская область), там же был построен опытно-промышленный углепровод Белово – Новосибирск. Годы реализации проектов: 1986–1997. За это время было приготовлено и сожжено в котле ПК-40А Беловской ГРЭС более 15 тыс. т ВУТ, а приготовлено и перекачано по трубопроводу и сожжено в котлах ТПЕ-214 Новосибирской ТЭЦ-5 более 350 тыс. т ВУТ. В то время впервые в мировой практике полностью переведен на сжигание водоугольного топлива котел теплопроизводительностью 670 т/ч и осуществлен гидротранспорт водоугольного топлива на расстояние 262 км. Достигнуто снижение в дымовых газах содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  на 25–30 % и снижение концентрации других вредных веществ при сжигании ВУТ до 15–70 %.

Сооружение углепроводов также не является редкостью, они используются в ряде стран (табл. 1).

не более 48 мг/м<sup>3</sup>; полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) отсутствуют. Кроме того, обеспечивается снижение выбросов углекислого газа  $\text{CO}_2$  до 2 раз по сравнению со слоевым сжиганием рядового угля.

Экономическая эффективность использования водоугольного топлива определяется:

- 15–25 % экономией сжигаемого угля;
- снижением на 20–35 % себестоимости выработки 1 Гкал/ч тепловой энергии в зависимости от типа котла;
- вовлечением в энергетику низкокачественных углей при высокой эффективности и экологически чистом их сжигании;
- значительным снижением расходов на утилизацию золы и шлаков от работы котельных, так как практически 70 % их объемов может быть использовано при производстве, например, строительных материалов.

Беловская ГРЭС сжигает около 4500 тыс. т угля в год, при этом на расстоянии 30–35 км от нее находятся обогатительные фабрики шахт «Заречная», им. С. М. Кирова и «Комсомолец», производящие более 1,5 млн т фильтр-кека, который вывозится в отвалы, выветривается, пылит, выделяет газовые испарения в летний период, ухудшая экологическую обстановку района.

Таблица 1  
Table 1

**Протяженность и пропускная способность углепроводов в мировой практике**  
*Length and capacity of coal slurry pipelines in the world*

Страна	Протяженность углепровода, км	Пропускная способность углепровода, тыс. т
США	20000	250000
Франция	7,2	330
Канада	1287	10200
Польша	400	5000
Китай	Нет данных	30000
Индия	2500	26000

В последнее десятилетие водоугольное топливо стало весьма востребованным. Ряд проектов реализован в Казахстане, Узбекистане, Армении, Австрии, Ирландии, что открывает широкие возможности для экспорта производимой продукции. В настоящее время представляется актуальным восстановление строительства углепроводов в Кузбассе, так как они экономически более выгодны по сравнению с железнодорожными перевозками угля, а приготовление и сжигание водоугольного топлива экономически выгоднее сжигания в топках мазута.

Проведенные натурные исследования при сжигании водоугольного топлива, приготовленного на основе фильтр-кека обогатительных фабрик, на экспериментальной установке Сибирского государственного индустриального университета (рис. 1 и 2) мощностью 500 кВт показали следующие значения вредных выбросов в дымовых газах: оксиды азота  $\text{NO}_x$  – не более 190 мг/м; оксиды серы  $\text{SO}_2$  – не более 20 мг/м<sup>3</sup>; оксид углерода  $\text{CO}$  – не более 135 мг/м<sup>3</sup>; пыль –

В то же время фильтр-кек – это готовый полуфабрикат для получения водоугольного топлива с характеристиками, позволяющими осуществлять его эффективное совместное сжигание в котельных агрегатах, работающих на угле. Характеристики водоугольного топлива, приготовленного на основе фильтр-кека обогатительных фабрик шахт им. С. М. Кирова и «Комсомолец», приведены в табл. 2.

В связи с вышеизложенным предлагаемый авторским коллективом проект включает реализацию ряда мероприятий.

1. Создание специализированной надземной транспортной технологической линии, проложенной на эстакадах и опорах и состоящей из:

- трубопровода для гидротранспорта ВУТ производительностью 1,5 млн т в год, что позволит транспортировать водоугольное топливо для Беловской ГРЭС, приготовленное на основе высоковлажных угольных шламов обогатительных

**Характеристики водоугольного топлива, приготовленного на основе фильтр-кека обогатительных фабрик шахт им. С. М. Кирова и «Комсомолец»**  
*Characteristics of filter cake-based coal slurry prepared at coal processing plants of the Kirov Coal Mine and Komsomolets Coal Mine*

Показатель, единица измерения	Значение показателя
Крупность частиц, мм	0–0,200
Массовая доля твердой фазы, %	56,6–58,6
Зольность твердой фазы, %	26,0–48,4
Эффективная вязкость, мПа · с	119–444
Низшая теплота сгорания МДж/кг (ккал/кг)	8,24–12,72 (1967–3037)
Расход топлива на производство 1 МВт (Гкал/ч), т	0,361 (0,420)



**Рис. 1. Блок приготовления водоугольного топлива экспериментальной установки, Сибирский государственный индустриальный университет**

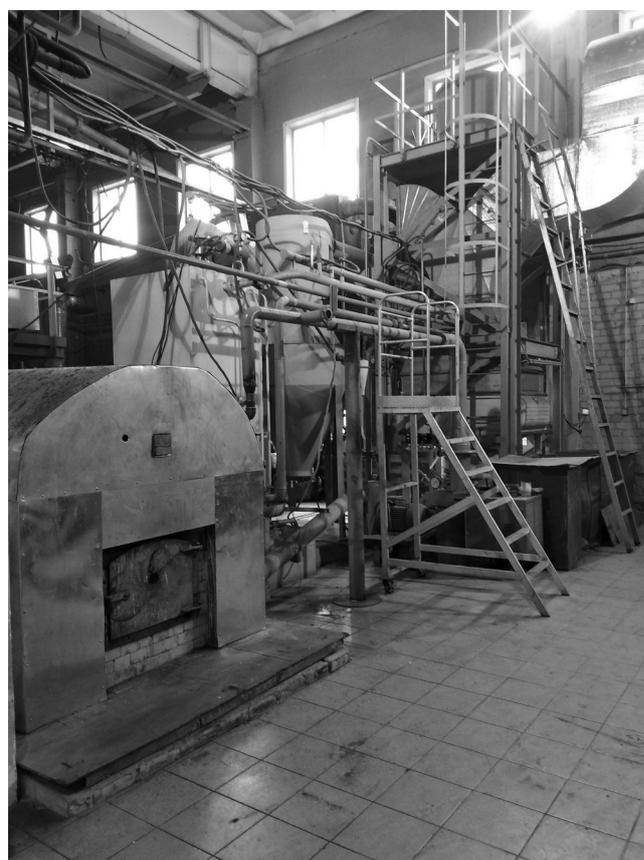
**Fig. 1. Coal slurry preparation part of the lab unit, Siberian State Industrial University**

фабрик шахт им. С. М. Кирова и «Комсомолец» (и, возможно, шахты «Заречная»);

– теплотрассы, состоящей из прямого и обратного трубопроводов, предназначенной для теплообеспечения потребителей, расположенных вдоль трассы, и предотвращения замерзания ВУТ в процессе его гидротранспортирования.

2. Создание технологического комплекса по приготовлению суспензионного водоугольного топлива на основе угольных шламов обогатительных фабрик АО «СУЭК-Кузбасс» производительностью 150 т/ч (1200 тыс. т в год) с дальнейшей транспортировкой ВУТ по трубопроводу на Беловскую ГРЭС.

3. Установка емкостей-хранилищ водоугольного топлива и насосной станции на промплощадке Беловской ГРЭС с оборудованием трех действующих котлов горелочными устройствами (8 шт.) с форсунками для подачи и сжигания ВУТ с целью частичной замены пылеугольного топлива. Система не потребует модернизации тягодутьевого оборудования и систем золошлакоудаления и газо-



**Рис. 2. Блок сжигания водоугольного топлива экспериментальной установки, Сибирский государственный индустриальный университет**

**Fig. 2. Coal slurry burning part of the lab unit, Siberian State Industrial University**

очистки. При этом обеспечивается устойчивая работа котлов в номинальном режиме при значительном снижении экологически опасных выбросов в газовых продуктах сгорания.

4. Изменение действующей схемы теплоснабжения городов Полысаева и Ленинска-Кузнецкого от местных низкоэффективных, экологически небезопасных, с практически полностью выработанным ресурсом, требующих капитального

ремонта котельных на централизованное снабжение теплом от Беловской ГРЭС.

По предварительным оценкам, инвестиционные затраты на реализацию предлагаемого проекта составят 2,5–3,0 млрд руб. При этом его внедрение принесет значительный экономический и экологический эффект.

Ориентировочное теплотребление г. Ленинска-Кузнецкого – 750 тысяч Гкал/год, или около 150 Гкал/ч. Для обеспечения выработки такого количества тепла при среднем КПД действующих котельных города около 60 % необходимо сжечь порядка 300 тыс. т угля с низшей теплотой сгорания 5 Гкал/т. Сжигание такого количества угля является серьезной экологической нагрузкой со следующими показателями выбросов вредных веществ: SO<sub>2</sub> – 3250 т, CO – 15 200 т, CO<sub>2</sub> – около 600 тыс. т, NO<sub>2</sub> – 1390 тыс. т, твердые пылевидные – 12 тыс. т, около 120 тыс. т золы и шлаков и др.

Изготовление 1–1,5 млн т водоугольного топлива в год с поставкой на Беловскую ГРЭС обеспечит возможность утилизации шламов и кеков обогатительных фабрик АО «СУЭК», при этом компания будет ежегодно получать более 400 млн руб. дополнительной прибыли от реализации этих отходов.

Кроме значительного улучшения экологической составляющей, сжигание более 1 млн т ВУТ на Беловской ГРЭС позволит уменьшить количество потребляемого угля на 73,2 т/ч, или 641 тыс. т в год. Стоимость пылеугольного топлива на Беловской ГРЭС составляет 1320 руб./т, стоимость водоугольного топлива – 660 руб./т. Годовой экономический эффект от совместного сжигания угля и водоугольного топлива в котлах Беловской ГРЭС составит 186 млн. руб. Помимо этого, Беловская ГРЭС будет поставлять тепло в объеме 750 тыс. Гкал в год. Даже при относительно низкой цене в 1000 руб./Гкал дополнительный доход от продажи тепла составит более 500 млн руб. в год.

Суммарный экономический эффект от реализации предлагаемого проекта составит более 1,1 млрд руб. в год. При этом интегральный экономический эффект будет включать экономию средств, не потраченных на строительство, модернизацию и эксплуатацию котельных, прибыль от реализации несожженного угля за счет его замены водоугольным топливом и экономию в стоимости единицы тепла, получаемого при централизованном теплоснабжении потребителей.

## Литература / References

1. Hussain, A., Arif, S. M., Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033>.
2. Guo, P., Kong, J., Guo, Y., Liu, X. (2019). Identifying the influencing factors of the sustainable energy transitions in China. *Journal of Cleaner Production*, 215, 757–766. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.107>.
3. Qian, X., Wang, D., Wang, J., Chen, S. (2019). Resource curse, environmental regulation and transformation of coal-mining cities in China. *Resources Policy*, 101447. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101447>.
4. Chernikova, O., Zlatitskaya, Y., Klimashina, Y. (2019). Benchmarking sustainable energy technologies in cross-border regions: issues of economic efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 395, 012102. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012102>.
5. Martins, V. W. B., Rampasso, I. S., Siltori, P. F. S., Cazeri, G. T., Anholon, R., Quelhas, O. L. G., Leal Filho, W. (2020). Contributions from the Brazilian industrial sector to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122762>.
6. Glushakova, O. V., Chernikova, O. P., Strekalova, S. A. (2020). Integral Assessment of the Corporate Strategy Effectiveness in the Iron and Steel Industry. *Steel in Translation*, 50(5), 309–316. <https://doi.org/10.3103/s0967091220050058>.
7. Chernikova, O. P., Strekalova, S. A., Zhdanova, N. G., Grinkevich, O. V. (2020). Formation of a commodity fuel portfolio of Kuzbass on the basis of coal preparation waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 976, 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/976/1/012014>.
8. Mealy, P., Teytelboym, A. (2020). Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 103948. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>.
9. Hummels, H., Argyrou, A. (2021). Planetary demands: Redefining sustainable development and sustainable entrepreneurship. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123804>.
10. Du Z., Lin B. (2018). Analysis of carbon emissions reduction of China's metallurgical industry. *Journal of Cleaner Production*, 176, 1177–1184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.178>.
11. Schlör, H., Venghaus, S., Hake, J.-F. (2017). Green Economy Innovation Index (GEII) – a normative innovation approach for Germany & its FEW Nexus. *Energy Procedia*, 142, 2310–2316. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.159>.
12. Lin B., Xu M. (2019). Exploring the green total factor productivity of China's metallurgical industry under carbon tax: A perspective on factor substitution. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1322–1333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.137>.

13. Murko, V. I., Khyamyalyainen, V. A., Baranova, M. P. (2019). The Creation of a low-capacity boiler plant on coal-enrichment waste. *2019 International Science and Technology Conference EastConf*. <https://doi.org/10.1109/eastconf.2019.8725397>.
14. Oh, G., Ra, H. W., Yoon, S. M., Mun, T. Y., Seo, M. W., Lee, J.-G., Yoon, S. J. (2019). Syngas production through gasification of coal water mixture and power generation on dual-fuel diesel engine. *Journal of the Energy Institute*, 92(2), 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.01.009>.
15. Vershinina, K., Shabardin, D., Strizhak, P. (2019). Burnout rates of fuel slurries containing petrochemicals, coals, and coal processing waste. *Powder Technology*, 343, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.052>.
16. Wang, R., Liu, J., Lv, Y., Ye, X. (2016). Sewage sludge disruption through sonication to improve the co-preparation of coal-sludge slurry fuel: The effects of sonic frequency. *Applied Thermal Engineering*, 99, 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.098>.
17. Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., Du, J., Chen, Y. (2017). Coal-derived alternative fuels for vehicle use in China: A review. *Journal of Cleaner Production*, 141, 774–790. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.137>.

#### Для цитирования:

Мурко В. И., Черникова О. П. Повышение экологичности и эффективности городской системы теплоснабжения с использованием водоугольного топлива / / Энергобезопасность и энергосбережение. – 2021. – № 3. – С. 18–22. <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2021-3-18-22>.

#### Cite this paper:

Murko, V. I., Chernikova, O. P. (2021). Improvement of sustainability and efficiency of urban heating using coal-water slurry fuel. *Energy Safety and Energy Economy*, 3, 18–22 (in Russian). <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2021-3-18-22>.

#### Improvement of sustainability and efficiency of urban heating using coal-water slurry fuel

##### V. I. Murko,

*Siberian State Industrial University, Doctor of Science, professor*

##### O. P. Chernikova,

*Siberian State Industrial University, PhD, associate professor*

*Coal-water slurry fuel is coming into use in heat generation facilities as an alternative to natural gas and heavy oil. The main advantage of coal slurry is its cost efficiency. Our project is devoted to improvement of heat generation using coal-water slurry fuel instead of investing in new construction of coal-burning boiler houses. As an example, we considered implementing this project in the city of Leninsk-Kuznetsky, Russia. The project implies partial burning of coal slurry along with conventional coal burning. This solution is cost efficient and environmentally friendly yet not requiring major heat generation equipment replacement or renovation. The total cost efficiency of the suggested project is estimated at least as 1.1 billion rubles per year.*

**Keywords:** *energy efficiency, coal, coal-water slurry fuel, coal preparation waste.*