УДК 697.3
DOI: 10.34031/ES.2026.3.01

Секция
Теплоэнергетика и теплотехника

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В РАЗРЕЗЕ ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Бирюков А.Б.[1], Полхов С.В.[2]

[1]ДонНТУ, г. Донецк, [2] ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго», г. Донецк

Аннотация

В работе представлены результаты анализа технико-экономической и энергетической эффективности отопительной котельной в разрезе общей эффективности структурного подразделения муниципального теплогенерирующего предприятия. При проведении анализа были использованы разработанные критерии и показатели общепроизводственной эффективности объектов генерации тепловой энергии. Использование новых разработанных показателей обусловлено ограниченностью существующих методов оценки эффективности источников тепловой энергии и систем теплоснабжения. Для рассматриваемой отопительной котельной, на основании фактических данных о показателях функционирования, были определены предложенные в работе критерии, сделаны выводы о фактической эффективности котельной в разрезе эффективности структурного подразделения. Полученные в результате исследования данные позволили решить задачи формирования очередности мероприятий по реконструкции объектов генерации тепловой энергии, а также рационального распределения бюджетных средств.

Ключевые слова: *коэффициент полезного действия, потребление природного газа, тепловая энергия, котельная, структурное подразделение, генерация, коэффициент эффективности.*

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF HEAT ENERGY GENERATION FACILITIES IN THE CONTEXT OF OVERALL EFFICIENCY OF STRUCTURAL UNITS OF MUNICIPAL HEAT-GENERATING ENTERPRISES

Alexey Biryukov[1], Sergey Polkhov[2]

[1]Donetsk National Technical University, Donetsk

[2] State Unitary Enterprise of the DPR "Donbassteploenergo", Donetsk

Abstract

The paper presents the results of an analysis of the technical, economic, and energy efficiency of a heating boiler house within the context of the overall efficiency of a structural unit of a municipal heat-generating enterprise. The analysis was carried out using newly developed criteria and indicators of general production efficiency for heat energy generation facilities. The introduction of these new indicators is justified by the limitations of existing methods for evaluating the efficiency of heat energy sources and district heating systems. Based on actual operational data for the heating boiler house under consideration, the proposed criteria were applied and the actual efficiency of the boiler house was evaluated in relation to the efficiency of the structural unit. The research findings enable the prioritization of reconstruction measures for heat generation facilities and support the rational allocation of budgetary funds.

Keywords: *efficiency coefficient, natural gas consumption, thermal energy, boiler house, structural unit, heat generation, performance coefficient.*

Введение

Централизованное теплоснабжение является основным источником тепловой энергии для всей совокупности потребителей в Донецкой Народной Республике и большинстве субъектов Российской Федерации. Источники теплоты (котельные) системы централизованного теплоснабжения ДНР находятся в государственной собственности и входят в ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго». Значительная часть основного и вспомогательного оборудования котельных исчерпала проектный срок эксплуатации, что в ряде случаев определяет достаточно низкие технико-экономические показатели и сказывается на снижении надежности и качества теплоснабжения, а также величине тарифа.

В состав муниципальных теплогенерирующих предприятий входит существенное количество котельных различной мощности и состава основного и вспомогательного оборудования, тепловые сети и многочисленное сопутствующее оборудование. В связи с этим, принятие решений о проведении тех или иных энергосберегающих мероприятий, реконструкций или модернизаций не может осуществляться изолировано для конкретного объекта. При формировании очередности, проектировании энергосберегающих мероприятий, распределении бюджетных средств, необходимо рассматривать ситуацию в разрезе общей эффективности предприятия. Сопоставление показателей эффективности объектов или групп объектов позволяет решить задачи об очередности мероприятий по реконструкции и модернизации, рациональному распределению бюджетных средств и т.д. Существующие методы оценки показателей эффективности источников тепловой энергии и систем теплоснабжения, как правило, ограничены анализом технико-экономической и энергетической эффективности конкретного объекта или оборудования.

Цель работы – создание методов оценки технико-экономической и энергетической эффективности отопительных котельных в разрезе общей эффективности структурных подразделений и муниципальных теплогенерирующих предприятий.

Материалы и методы

Объект исследования – отопительная котельная, находящаяся в собственности одного из структурных подразделений теплогенерирующего предприятия. Котельная оборудована водогрейными котлами ТВГ-4р. Существенная часть основного и вспомогательного оборудования устарело и изношено. На котельной запланировано проведение мероприятий по реконструкции и модернизации наряду с другими объектами рассматриваемого структурного подразделения.

Для данной котельной доступны данные о суточном потреблении природного газа и электрической энергии, выработанной тепловой энергии, фактические и проектные данные о подключенной нагрузке. В качестве расчетного периода выбраны два отопительных сезона – 2018/2019 и 2019/2020.

В качестве показателя обобщенной эффективности объекта генерации тепловой энергии предлагается использовать *средневзвешенный КПД за рассматриваемый период* времени [1]:

$$\eta_{\text{н}}^{i} = \frac{Q_{\text{вып}}^{i}}{Q_{\text{т}}^{i}} = \frac{Q_{\text{вып}}^{i}}{B_{\text{т}}^{i} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{вып}}^{i}$ – тепловая энергия, отпущенная котельной за рассматриваемый период времени i, кВт·ч; $Q_{\text{т}}^{i}$ – тепловая энергия, выделенная при сжигании топлива, потребленного котельной за рассматриваемый период времени, кВт·ч; $B_{\text{т}}^{i}$ – расход топлива котельной за рассматриваемый период времени, м^3; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кВт·ч/м^3.

В качестве *общепроизводственных критериев*, которые предназначены на оценки эффективности групп объектов инфраструктуры теплоснабжения, а также для сравнительного анализа эффективности отдельных объектов в разрезе общей эффективности предприятия, предлагается использовать следующие [1,2]:

- *общий средневзвешенный КПД* подразделения или предприятия:

$$\eta_{\text{н}}^{\Sigma} = \frac{\sum_{k=1}^{n} Q_{\text{вып},k}^{i}}{\sum_{k=1}^{n} B_{n,k}^{i} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н}}}, \quad (2)$$

- *средневзвешенная себестоимость* производства тепловой энергии для подразделения или всего предприятия:

$$a^{\Sigma} = \frac{\sum_{k=1}^{n} a_{k}^{i} \cdot Q_{\text{вып},k}^{i}}{\sum_{k=1}^{n} Q_{\text{вып},k}^{i}}, \quad (3)$$

где n – количество объектов генерации тепловой энергии рассматриваемого структурного подразделения или предприятия; k - номер котельной; a_{k}^{i} - себестоимость производства тепловой энергии, руб/кВт·ч.

- *удельный коэффициент значимости k-ой котельной по потреблению топливных ресурсов:*

$$\chi_{k}^{\text{т}} = \frac{B_{n,k}^{i} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н}}}{\sum_{k=1}^{n} B_{n,k}^{i} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н},i}}, \quad (4)$$

- *удельный коэффициент значимости k-ой котельной по потреблению энергетических ресурсов с учетом электрической энергии:*

$$\chi_{k}^{e} = \frac{B_{n,k}^{i} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н},i} \cdot e_{\text{эл},k}^{i}}{\sum_{k=1}^{n} B_{n,k}^{i} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н},i} \cdot e_{\text{эл},k}^{i}}, \quad (5)$$

где $e_{\text{эл},k}^{i}$ – добавочный коэффициент энергетической эффективности, определяемый по формуле [1,2]:

$$e_{\text{эл}}^{i} = 1 + \frac{W_{\text{всп}}^{i}}{B_{\text{т}}^{i} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \quad (6)$$

где $W_{\text{всп}}^{i}$ – потребление электрической энергии оборудованием котельной за рассматриваемый период времени, кВт·ч.

- *удельный коэффициент значимости k-ой котельной по подключенной нагрузке:*

$$\chi_{k}^{\text{н}} = \frac{M_{\text{ф.пр.},k}}{\sum_{k=1}^{n} M_{\text{ф.пр.},k}}, \quad (7)$$

где $M_{\text{ф.пр.},k}$ - фактическая присоединенная нагрузка k-ой котельной, МВт.

Данные показатели позволяют отобразить фактическую производительность исследуемой котельной в разрезе общей производительности структурного подразделения и могут быть использованы при планировании очередности мероприятий по модернизации и распределении средств на проведение этих мероприятий [1].

Достаточно информативным может быть также сопоставление показателей $\chi_{k}^{\text{т}}$, χ_{k}^{e}, $\chi_{k}^{\text{н}}$ между собой. В реальных условиях эксплуатации объектов генерации тепловой энергии коэффициенты значимости могут существенно отличаться: $\chi_{k}^{\text{т}} \neq \chi_{k}^{e} \neq \chi_{k}^{\text{н}}$. Такая ситуация говорит о существенном дисбалансе между фактической и проектной производительностью котельных, дисбалансе между различными составляющими эф-

фективности. Существенное превышение $\chi_k^{\text{т}}$ над $\chi_k^{\text{н}}$ говорит о крайне низкой технико-экономической эффективности рассматриваемой котельной в разрезе общей производительности теплогенерирующего предприятия [1].

Для отображения экономической эффективности котельной в разрезе общей экономической эффективности предприятия можно использовать коэффициент, представляющий собой отношение себестоимости производства тепловой энергии для рассматриваемой котельной к средневзвешенной себестоимостью по предприятию [1,3]:

$$\chi_k^{\text{эк}} = \frac{a_k^i}{a^{\Sigma}}, \tag{8}$$

Данный критерий позволяет судить о степени отклонения экономической эффективности рассматриваемой котельной от средневзвешенной экономической эффективности производства тепловой энергии на предприятии.

Результаты

На рис. 1 отображено изменение суточного потребления природного газа котельной для расчетного периода. На рис. 2 – отображена суточная отпущенная тепловая энергия котельной, а на рис. 3 – изменение средневзвешенного КПД.

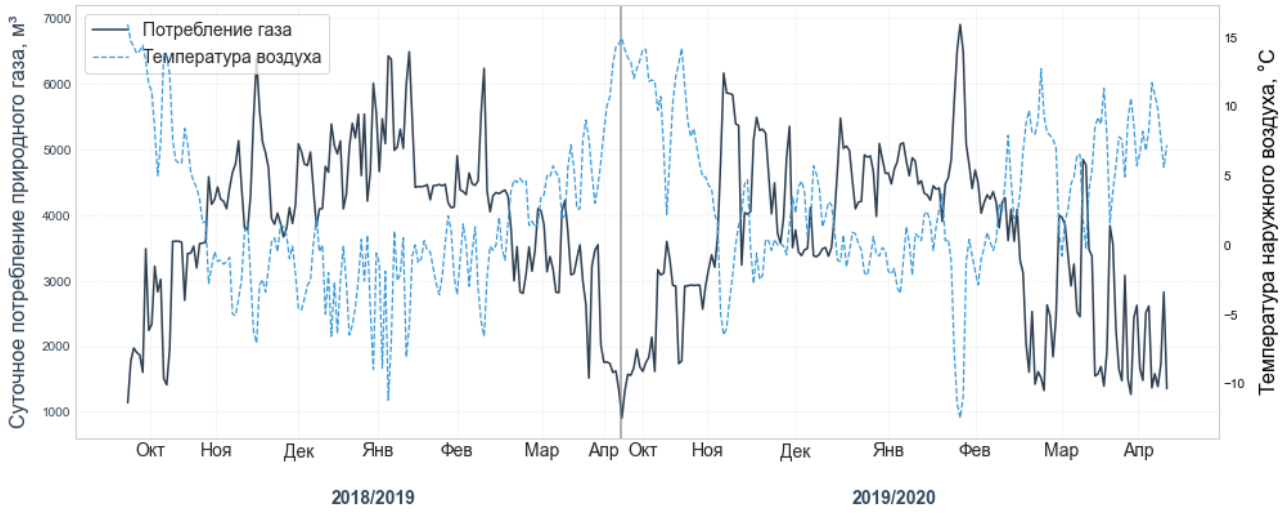

Рис. 1. Суточное потребление природного газа расчетного периода

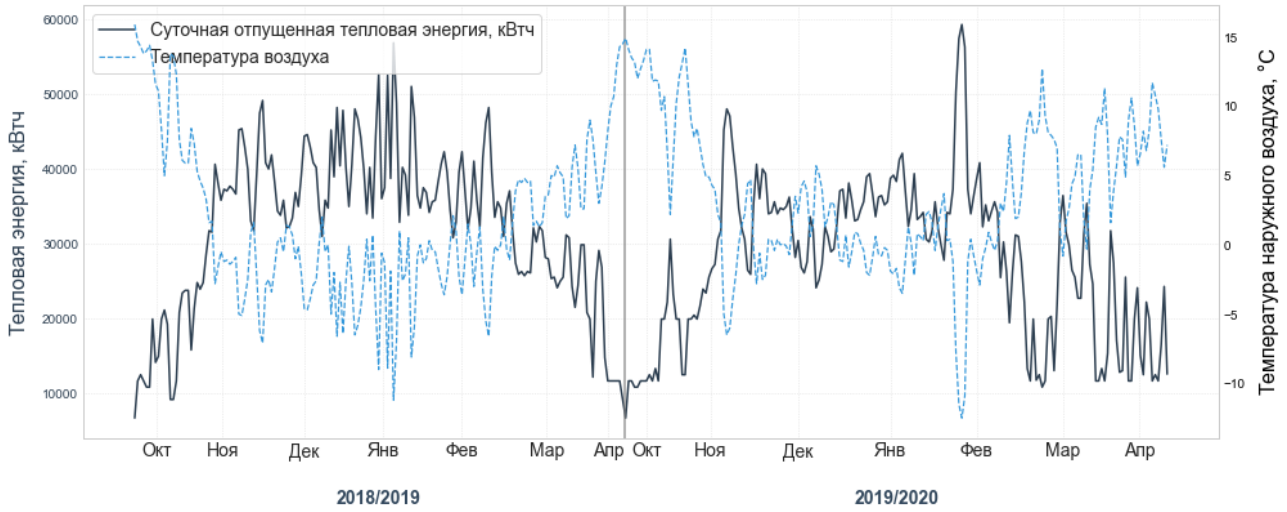

Рис. 2. Отпущенная тепловая энергия расчетного периода

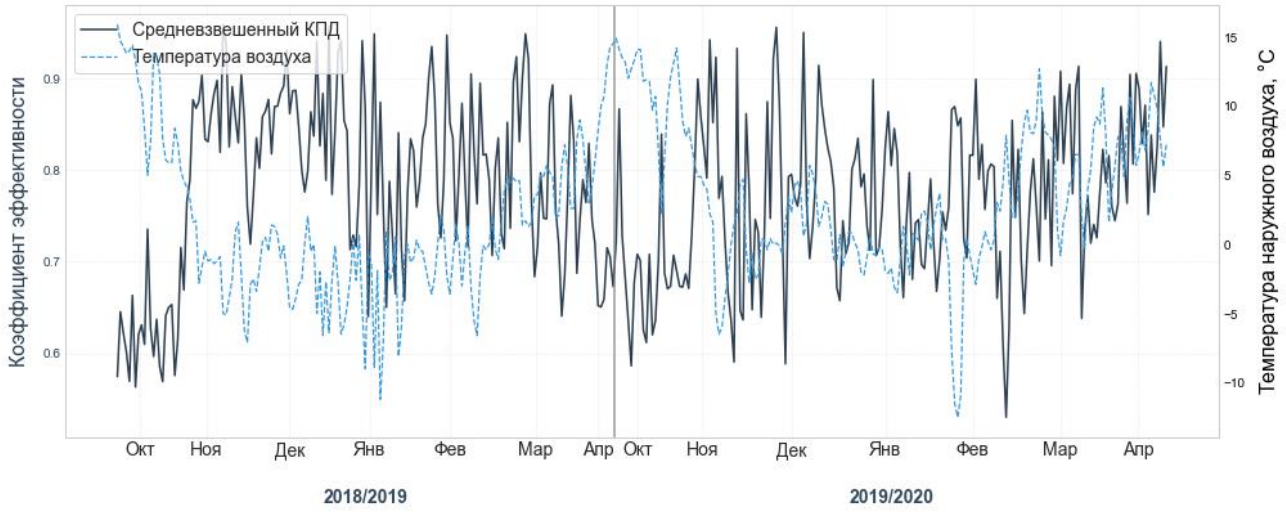

Рис. 3. Изменение средневзвешенного КПД для расчетного периода

На рис. 4 отображены показатели работы котельной в разрезе общей эффективности работы структурного подразделения за расчётный период.

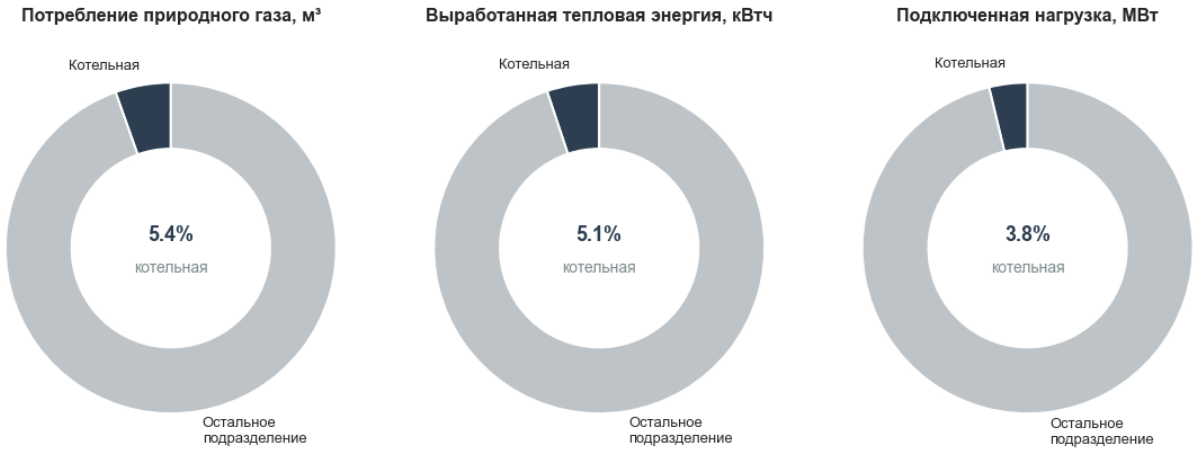

Рис. 4. Показатели работы котельной в разрезе структурного подразделения

В табл. 1 отображены основные показатели работы рассматриваемой котельной и в целом по структурному подразделению за расчетный период. В табл. 2 отображены значения общепроизводственных критериев эффективности для рассматриваемой котельной.

Таблица 1

Показатели работы за расчетный период

Показатель	Котельная	СПП
Потребление природного газа, м³	1 312 275,00	24 167 127,07
Выработанная тепловая энергия, кВтч	10 401 776,30	203 373 087,40
Подключенная нагрузка, МВт	8,70	232,00
Средневзвешенный КПД	0,78	0,83
Добавочный энергетический коэффициент $e^i_{эл}$	1,03	1,02

Таблица 2

Общепроизводственные критерии эффективности котельной

Критерий эффективности	Значение
Удельный коэффициент значимости *k*-ой котельной по потреблению топливных ресурсов $\chi_k^{\text{т}}$	0,0543
Удельный коэффициент значимости *k*-ой котельной по потреблению энергетических ресурсов с учетом электрической энергии χ_k^{e}	0,0548
Удельный коэффициент значимости k-ой котельной по подключенной нагрузке $\chi_k^{\text{н}}$	0,0375
Коэффициент соотношения себестоимости $\chi_k^{\text{эк}}$	1,236

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- котельная в целом демонстрирует неудовлетворительную эффективность, о чем говорят существенные колебания и низкое среднее значение средневзвешенного КПД (рис. 3, табл. 2);
- отличия коэффициентов значимости (табл. 2) свидетельствует о наличии дисбаланса между фактической и проектной эффективностью котельной, а также о низкой эффективности котельной в разрезе общей эффективности структурного подразделения (превышение удельной значимости по потреблению ресурсов над удельной значимостью по подключенной нагрузке);
- значение коэффициента соотношения себестоимости производства тепловой энергии $\chi_k^{\text{эк}}$>1.0 также свидетельствует о снижении эффективности функционирования рассматриваемой котельной;
- рассматриваемая котельная нуждается в реконструкции с целью повышения энергетической эффективности. Ввиду достаточно существенной доли котельной в общем потреблении энергоресурсов и существенном снижении эффективности, необходимость реконструкции можно рассматривать как первоочередную.

Библиографический список

1. **Бирюков А.Б., Полхов С.В.** Критерии эффективности теплогенерирующих предприятий и производственных подразделений, эксплуатирующих котельные установки // Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2025. – № 4. – С. 205-209. EDN: SRVWYS. DOI: 10.5281/zenodo.18229941.
2. **Бирюков А.Б., Полхов С.В.** Система критериев для оценки уровня энергоэффективности, технико-экономических и экологических показателей работы котельной // Энергетические системы. – 2025 г. – № 1. – С. 18-23. EDN: UTCRPS. DOI: 10.34031/ES.2025.1.02.
3. **Бирюков А.Б., Полхов С.В.** Система критериев эффективности работы котельной и экономическая эффективность производства тепловой энергии // Промышленная энергетика. – 2026. – № 1. – С. 20-24. EDN: OUUVPS. DOI: 10.71759/k76a-rg27.
4. **Гашо Е.Г.** Энергоэффективность и развитие теплоэнергетики России // Энергосбережение. – 2014. – № 1. – С. 50-54. EDN: RVGYNX.
5. **Бирюков А.Б., Гнитиёв П.А**. Совершенствование использования системы критериев для анализа энергоэффективности источников теплоты в системах теплоснабжения // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 60-65. EDN: DPFZKV.
6. **Зах Р.Г.** Котельные установки. – М.: Энергия, 1968. – 352 с..

7. **Либерман Н.Б., Нянковская М.Т.** Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения: (Общие вопросы проектирования и основное оборудование). – М.: Энергия, 1979. – 224 с.

References

1. Biryukov, A. B., Polkhov, S. V. (2025). Efficiency criteria for heat-generating enterprises and production units operating boiler plants. *Bulletin of donetsk national university. Series G: Technical sciences, 4*, 205-209. https://doi.org/10.5281/zenodo.18229941 [In Russian]

2. Biryukov, A. B., Polkhov, S. V. (2025). A system of assessing criteria the energy efficiency level, as well as technical, economic and environmental indicators of boiler operation. *Energy Systems, 10*, 18-23. https://doi.org/10.34031/ES.2025.1.02 [In Russian]

3. Biryukov, A. B., Polkhov, S. V. (2026). System of performance criteria for boiler plants and the economic efficiency of heat energy production. *Promy`shlennaya e`nergetika, 1*, 20-24. https://doi.org/10.71759/k76a-rg27 [In Russian]

4. Gasho, E. G. (2014). Energoeffektivnost' i razvitie teploenergetiki Rossii [Energy efficiency and development of heat power engineering in Russia]. *Energosberezhenie, 1*, 50–54. [In Russian]

5. Biryukov, A. B., Gnitiev, P. A. (2023). Sovershenstvovanie ispol'zovaniya sistemy kriteriev dlya analiza energoeffektivnosti istochnikov teploty v sistemakh teplosnabzheniya [Improving the use of the criteria system for analyzing the energy efficiency of heat sources in heat supply systems]. *Bulletin of donetsk national university. Series G: Technical sciences, 2*, 60–65. [In Russian]

6. Zakh, R. G. (1968). *Kotel'nye ustanovki* [*Boiler installations*]. Energiya. [In Russian]

7. Liberman, N. B., Nyankovskaya, M. T. (1979). *Spravochnik po proektirovaniyu kotel'nykh ustanovok sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya* [*Handbook on the design of boiler installations for centralized heat supply systems*]. Energiya. [In Russian]

Сведения об авторах

Бирюков Алексей Борисович, д-р техн. наук, профессор, проректор, заведующий кафедрой технической теплофизики, Донецкий национальный технический университет, Донецк, e-mail birukov.donntu@mail.ru, SPIN-код 3186-0680, ORCID 0000-0002-8146-2017.

Полхов Сергей Валерьевич, генеральный директор ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго», Донецк, e-mail psv800@bk.ru.

Authors about

Alexey B. Biryukov, Dr. of Tech. Sc., professor, Vice-Rector, Head of the Department of Technical Thermal Physics, Donetsk National Technical University, Donetsk, e-mail birukov.donntu@mail.ru, ORCID 0000-0002-8146-2017.

Sergey V. Polkhov, Director General (CEO) of the State Unitary Enterprise of the DPR "Donbassteploenergo", Donetsk, e-mail psv800@bk.ru.

Ссылки для цитирования

Бирюков А.Б., Полхов С.В. Анализ эффективности объектов генерации тепловой энергии в разрезе общей эффективности структурных подразделений муниципальных теплогенерирующих предприятий // Энергетические системы. – 2026. – № 3. – С. 6-12.

Biryukov, A., @ Polkhov, S. (2026). Analysis of the efficiency of heat energy generation facilities in the context of overall efficiency of structural units of municipal heat-generating enterprises. *Energy Systems, 3*, 6-12. https://doi.org/10.34031/es.2026.3.00