

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

А.Г. ЗВОНЧЕВСКИЙ^{1,2}, аспирант

А.Я. ШЕЛГИНСКИЙ¹, д-р техн. наук, профессор

Р.Н. ТАКТАШЕВ², канд. техн. наук

A.G. ZVONCHEVSKY^{1,2}, Postgraduate Student

A.Ya. SHELGINSKY¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor

R.N. TAKTASHEV², Cand. Sci. (Tech.)

¹Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт». Российская Федерация, Москва

²Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт, Российская Федерация, Москва

¹National Research University "Moscow Power-Engineering Institute". Russian Federation, Moscow

²All-Russian Twice Order of Labor Red Banner Thermal Engineering Research Institute, Russian Federation, Moscow

Аннотация. Статья посвящена разработке теплотехнологической схемы утилизации низкопотенциальной теплоты вторичных энергоресурсов (ВЭР) в производстве минеральных удобрений и метода её расчёта, учитывающего технологические и эксплуатационные ограничения. На основе разработанного метода определён экономически целесообразный потенциал утилизации тепловых ВЭР и выполнены расчёты параметров теплоносителей при каскадной рекуперации теплоты для выработки теплоты, холода и электроэнергии. Показано, что внедрение схемы позволяет повысить энергоэффективность производства и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Ключевые слова: утилизация ВЭР, теплообменный аппарат, метод расчета, система абсорбции, рекуперация, комбинированная выработка, энергоэффективность

Список источников

1. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ИТС 48-2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. – Москва: Бюро НДТ, 2017. – 165 с.
2. Шелгинский, А. Я. Повышение энергетической эффективности производства аммофоса на основе утилизации теплоты запыленных газов / А. Я. Шелгинский, А. Г. Звончевский // Промышленная энергетика. – 2022. – № 6. – С. 23-30. – DOI 10.34831/EP.2022.91.94.005. – EDN WACUDJ.
3. Галковский, В. А. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В. А. Галковский, М. В. Чупова // Вестник евразийской науки. – 2017. – № 2 (39). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-snizheniya-koeffitsienta-teploperedachi-teploobmennyyh-apparatov-vsledstvie-zagryazneniya-poverhnosti> (дата обращения: 30.04.2026).
4. Евграшенко, В. В. Практический опыт аппаратного оформления систем абсорбции в производстве сложных удобрений / В. В. Евграшенко, М. А. Орлов // Химическая промышленность сегодня. – 2006. – № 7. – С. 43-45. – EDN MZIMVB.
5. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ИТС 2-2022. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. – 2-е изд. – Москва: Бюро НДТ, 2022. – 838 с.
6. Шелгинский, А. Я. Энергосбережение в производстве аммофоса на основе эффективного использования тепловых ВЭР-технологий / А. Я. Шелгинский, А. Г. Звончевский // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2022. – № 4. – С. 24-34. – DOI 10.17588/2072-2672.2022.4.024-034. – EDN DZYIGO.
7. Маленков, А. С. Разработка перспективной системы теплохладоснабжения на основе абсорбционных трансформаторов теплоты: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Маленков Алексей Сергеевич. – Москва, 2018. – 188 с.
8. Звончевский, А. Г. Анализ показателей энергоемкости в производстве минеральных удобрений / А. Г. Звончевский, А. Я. Шелгинский // Надежность и безопасность энергетики. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 226-234. – DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-4-226-234. – EDN XZFXPB.
9. Шелгинский, А. Я. Разработка энергосберегающих и экологически прогрессивных направлений производства минеральных удобрений на основе высокоэффективных тепловых схем и интенсификации тепломассообмена: дис. ... д-ра техн. наук / Шелгинский А. Я. – Москва, 1997. – 277 с.
10. Anvari, S. Thermo-economical consideration of Regenerative organic Rankine cycle coupling with the absorption chiller systems incorporated in the trigeneration system / S. Anvari, H. Taghavifar, A. Parvishi // Energy Conversion and Management. – 2017. – Vol. 148. – P. 317-329. – DOI 10.1016/j.enconman.2017.05.077.
11. Брунауэр, С. Адсорбция газов и паров: в 2 т. Т. 1. Физическая адсорбция / С. Брунауэр; пер. с англ. В. П. Беринга, Б. П. Древинга, А. В. Киселева [и др.]; под ред. акад. М. М. Дубинина. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1948. – 784 с.
12. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский [и др.]; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Химия, 1991. – 496 с.
13. Методика оценки поступления фтористого водорода из атмосферы на водную поверхность / Н. И. Янченко, А. Н. Баранов, В. В. Баяндин, О. Л. Яскина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 8. – С. 130-132. – EDN MTALKR.
14. Кочетков, С. П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты: монография / С. П. Кочетков, Н. Н. Смирнов, А. П. Ильин. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. – 304 с.
15. Рысс, И. Г. Химия фтора и его неорганических соединений / И. Г. Рысс. – Москва: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1956. – 512 с.
16. Зайцев, В. А. Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья / В. А. Зайцев, А. А.

Новиков, В. И. Родин. – Москва: Химия, 1978. – 242 с.

17. Проект технологических нормативов выбросов. Казфосфат: финал [Электронный ресурс]. — 2025. — URL:

[<https://hearings.ndbecology.gov.kz/Public/PubHearings/LoadFile/232187>] (дата обращения: 18.05.2026).

18. Tiktas, A. Achieving ultra-high coefficient of performance

in a novel solar-assisted trigeneration system integrating absorption and Rankine cycles / A. Tiktas, A. Hepbasi, H. Gunerhan // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 346. – P. 120415. – DOI: 10.1016/j.enconman.2025.120415.

DEVELOPMENT OF A CALCULATION METHOD AND A HEAT-TECHNOLOGICAL SCHEME FOR THE UTILIZATION OF LOW-GRADE HEAT FROM SECONDARY ENERGY RESOURCES, TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL CONSTRAINTS

Abstract. This article is devoted to the development of a thermal process scheme for the utilization of low-grade waste heat from secondary energy resources (SER) in the mineral fertilizers production, along with a calculation method that accounts for technological and operational constraints. Based on the developed method, the economically feasible potential for waste heat recovery is determined, and the coolant parameters for cascaded heat recovery with the generation of heat, cooling, and electricity are calculated. It is shown that the implementation of the proposed scheme improves the energy efficiency of the production process and reduces its environmental impact.

Keywords: waste heat recovery, heat exchanger, calculation method, absorption system, recuperation, combined heat and power generation, energy efficiency

References

1. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. ITS 48-2017. Enhancing energy efficiency in business and other activities. Moscow: Bureau of BAT, 2017. 165 p.
2. Shelginsky, A. Ya., Zvonchevsky, A. G. Improving the energy efficiency of ammophos production through waste heat recovery from dust-laden gases. Industrial Energy, 2022, no. 6, pp. 23-30. DOI: 10.34831/EP.2022.91.94.005. EDN: WACUDJ.
3. Galkovsky, V. A., Chupova, M. V. Analysis of the reduction of heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface fouling. Bulletin of Eurasian Science, 2017, no. 2 (39).
4. Evgrashenko, V. V., Orlov, M. A. Practical experience in the hardware design of absorption systems in the production of complex fertilizers. Chemical Industry Today, 2006, no. 7, pp. 43-45. EDN: MZIMVB.
5. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. ITS 2-2022. Production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids. 2nd ed. Moscow: Bureau of BAT, 2022. 838 p.
6. Shelginsky, A. Ya., Zvonchevsky, A. G. Energy saving in ammophos production based on the efficient use of thermal SER technologies. Bulletin of Ivanovo State Power Engineering University, 2022, no. 4, pp. 24-34. DOI: 10.17588/2072-2672.2022.4.024-034. EDN: DZYIGO.
7. Malenkov, A. S. Development of a promising heat and cold supply system based on absorption heat transformers. PhD Dissertation (Tech. Sci.): 05.14.04. Moscow, 2018. 188 p.
8. Zvonchevsky, A. G., Shelginsky, A. Ya. Analysis of energy intensity indicators in mineral fertilizer production. Reliability and Safety of Energy, 2023, vol. 16, no. 4, pp. 226-234. DOI: 10.24223/1999-5555-2023-16-4-226-234. EDN: XZFXPB.
9. Shelginsky, A. Ya. Development of energy-saving and environmentally progressive directions for mineral fertilizer production based on high-efficiency thermal schemes and heat-and-mass transfer intensification. Doctoral Dissertation (Tech. Sci.). Moscow, 1997. 277 p.
10. Anvari, S. Thermo-economical consideration of Regenerative organic Rankine cycle coupling with the absorption chiller systems incorporated in the trigeneration system / S. Anvari, H. Taghavifar, A. Parvishi // Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 148. P. 317-329. DOI 10.1016/j.enconman.2017.05.077.
11. Brunauer, S. Adsorption of gases and vapors: in 2 vols. Vol. 1. Physical adsorption / S. Brunauer; translated from

English by V. P. Bering, B. P. Dreving, A. V. Kiselev [et al.]; ed. by Academician M. M. Dubinin. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1948. 784 p.

12. Main processes and apparatuses of chemical technology: a design manual / G. S. Borisov, V. P. Brykov, Yu. I. Dytnerskiy [et al.]; ed. by Yu. I. Dytnerskiy. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Khimiya, 1991. 496 p.

13. Methodology for assessing the transfer of hydrogen fluoride from the atmosphere to the water surface / N. I. Yanchenko, A. N. Baranov, V. V. Bayandin, O. L. Yaskina // Proceedings of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. 2010. Vol. 53, No. 8. P. 130-132. EDN MTALKR.

14. Kochetkov, S. P. Concentration and purification of extraction phosphoric acid: monograph / S. P. Kochetkov, N. N. Smirnov, A. P. Ilyin. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 2007. 304 p.

15. Ryss, I. G. Chemistry of Fluorine and Its Inorganic Compounds. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Chemical Literature, 1956. 512 p.

16. Zaitsev, V. A. Production of fluorine compounds in the processing of phosphate raw materials / V. A. Zaitsev, A. A. Novikov, V. I. Rodin. Moscow: Khimiya, 1978. 242 p.

17. Project of technological emission standards. Kazfосfat: final version [Electronic resource]. — 2025. — URL: <https://hearings.ndbecology.gov.kz/Public/PubHearing/LoadFile/232187> (accessed: 18.05.2026).

18. Tiktas, A. Achieving ultra-high coefficient of performance in a novel solar-assisted trigeneration system integrating absorption and Rankine cycles / A. Tiktas, A. Hepbasi, H. Gunerhan // Energy Conversion and Management. 2025. Vol. 346. P. 120415. DOI: 10.1016/j.enconman.2025.120415.

© Звончевский А.Г., Шелгинский А.Я., Такташев Р.Н., 2026