

Технические науки

УДК 621.036

Фиалко Наталия Михайловна

*доктор технических наук, профессор, член корреспондент НАН Украины,
Заслуженный деятель науки и техники Украины,
заведующая отделом теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Natalia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,
Head of the Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Степанова Алла Исаевна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Stepanova Alla

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Навродская Раиса Александровна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Navrodskaia Raisa

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Шевчук Светлана Ивановна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Shevchuk Svetlana

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Сбродова Галина Александровна

*кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Sbrodova Galina

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences (PhD), Senior Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

**КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

COMPLEX METHODOLOGY FOR CALCULATING THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE HEAT RECOVERY SYSTEM OF A BOILER PLANT

Аннотация. Приводятся результаты оптимизации параметров теплоутилизационной системы котельной установки, предназначенной для подогрева обратной воды. Анализируется целесообразность использования для оптимизации параметров установки методики, сочетающей методы эксергетического анализа, теории планирования эксперимента и многоуровневой оптимизации. Подчеркивается, что эффективность теплоутилизационных систем, оптимизированных с использованием указанной методики, на 2-3 % выше эффективности систем, оптимизированных с использованием других методик оптимизации. Кроме того, указанная методика позволяет учесть значительную часть технических потерь в теплоутилизационной системе и оптимизировать большое число параметров. Приводятся основные этапы комплексной методики. На каждом этапе используются указанные методы для разработки математических моделей и получения зависимостей эксергетических критериев эффективности от параметров теплоутилизационной системы. Приводятся результаты расчета оптимальных значений режимных и конструкционных параметров для рассматриваемой теплоутилизационной системы котельной установки.

Ключевые слова: теплоутилизационная система, многоуровневая оптимизация, теория планирования эксперимента, эксергетический анализ.

Summary. The results of optimizing the parameters of the heat recovery system of a boiler plant designed to heat return water are presented. The feasibility of using a technique that combines methods of exergy analysis,

experimental planning theory and multilevel optimization to optimize plant parameters is analyzed. It is emphasized that the efficiency of heat recovery systems optimized using the above technique is 2-3% higher than the efficiency of systems optimized using other optimization techniques. In addition, the specified method allows to take into account a significant part of the technical losses in the heat recovery system and to optimize a large number of parameters. The main stages of a comprehensive methodology are given. At each stage, the above methods are used to develop mathematical models and obtain dependences of exergy efficiency criteria on the parameters of the heat recovery system. The results of calculating the optimum values of operating and design parameters for the considered heat recovery system of the boiler unit are presented.

Key words: *heat recovery system, multi-level optimization, experiment planning theory, exergy analysis.*

Актуальность. В настоящее время для многих топливопотребляющих энергетических установок основную часть потерь теплоты составляют потери теплоты с отходящими газами [1-5]. В условиях дефицита энергоресурсов энергетика Украины испытывает потребность в высококачественном теплоутилизационном оборудовании. Задача повышения эффективности такого оборудования является важной и актуальной. При анализе эффективности оборудования и оптимизации его параметров необходимо использование комплексных методик, основанных на сочетании современных методов исследования [6-10].

Цель работы. Повышение эффективности теплоутилизационной системы котельной установки, предназначенной для подогрева обратной воды, на основе оптимизации ее параметров.

Материалы и методы исследования. Для оптимизации параметров теплоутилизационной системы котельной установки использована

методика, сочетающая методы эксергетического анализа, теории планирования эксперимента и многоуровневой оптимизации.

Результаты исследований и их обсуждение. Эффективность теплоутилизационных систем, оптимизированных с использованием указанной методики на 2 – 3 % выше эффективности тех же систем, оптимизированных с использованием других методик оптимизации. Кроме того, используемая методика позволяет учесть значительную часть технических потерь в теплоутилизационной системе и оптимизировать большое число параметров. Основные этапы комплексной методики состоят в следующем:

- в соответствии с принципами многоуровневой оптимизации разделить теплоутилизационную систему на несколько уровней оптимизации и разработать схему рекурсивного обхода уровней;
- с использованием методов эксергетического анализа и теории планирования эксперимента разработать математические модели для каждого уровня оптимизации;
- решить соответствующую оптимизационную задачу для каждого уровня оптимизации и определить оптимальные значения режимных и конструкционных параметров для теплоутилизационной системы котельной установки.

В соответствии с указанными этапами для теплоутилизационной системы, предназначенной для подогрева обратной воды котельной установки, разработана блок-схема многоуровневой оптимизации и схема рекурсивного обхода уровней (рис. 1).

С помощью указанной методики в соответствии с разработанной блок-схемой рассчитаны оптимальные значения режимных и конструкционных параметров для рассматриваемой теплоутилизационной системы (табл. 1).

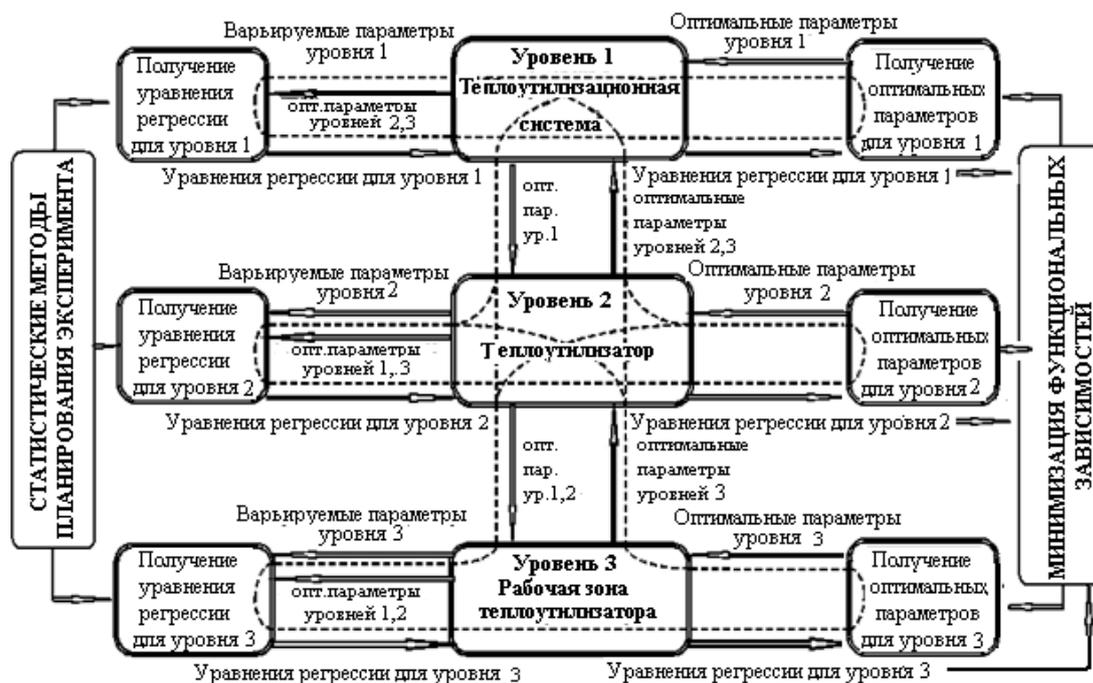


Рис. 1. Блок-схема многоуровневой оптимизации

Таблица 1

Результаты расчета оптимальных параметров теплоутилизационной системы котельной установки

Уровень	Параметры	Размерность	Оптимальные значения
Утилизационная система	Средняя скорость дымовых газов	м/с	8,7
	Средняя скорость воды	м/с	1,0
	Начальная температура дымовых газов	°С	123,0
Конденсационный теплоутилизатор	Удельная длина теплоутилизационной части	м/МВт	0,4
	Удельная ширина теплоутилизационной части	м/МВт	0,5
	Удельная высота теплоутилизационной части	м/МВт	0,2
Рабочая зона теплоутилизатора	Высота ребра	мм	11,0
	Толщина ребра	мм	0,5
	Межреберный шаг	мм	3,5

Использование полученных оптимальных значений режимных и конструкционных параметров при разработке конструкций теплоутилизационных систем позволяет повысить КПД установок на 5–10 % и соответственно уменьшить тепловые потери.

Выводы

1. Для оптимизации параметров теплоутилизационной системы, предназначенной для подогрева обратной воды котельной установки, разработана методика, сочетающая методы эксергетического анализа, теории планирования эксперимента и многоуровневой оптимизации.

2. В рамках разработанной методики для теплоутилизационной системы построена блок-схема многоуровневой оптимизации и схема рекурсивного обхода уровней оптимизации.

3. На каждом уровне оптимизации с помощью методов эксергетического анализа и методов теории планирования эксперимента разработаны математические модели и получены зависимости используемых эксергетических критериев эффективности от параметров теплоутилизационной системы (уравнения регрессии).

4. Рассчитаны оптимальные значения режимных и конструкционных параметров теплоутилизационной системы котельной установки.

Литература

1. Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Слюсар А. Ф. Исследование состава дымовых газов стекловаренных печей // Международный научный журнал "Интернаука". 2021. № 6. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>
2. Фиалко Н.М., Степанова А.И, Навродская Р.А. Эффективность теплоутилизаторов стекловаренных печей в условиях запыленности поверхностей нагрева // Энергетика і автоматика. 2016. №3. С. 28-35.
3. Fialko N., Navrodska R., Ulewicz M., Gnedash G., Alioshko S., Shevcuk S. Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants // DOK E3S Web Conf. (11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental

- Protection and Engineering ЕКО). 2019. V 100, P. 00015.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>
4. Фіалко Н.М., Гнедаш Г.О., Навродська Р.О., Пресіч Г.О., Шевчук С.І. Підвищення ефективності комбінованих теплоутилізаційних систем газоспоживальних котельних установок // Науковий вісник НЛТУ України. 2019. т. 29, №6. С.79-82.
 5. Fialko N.M., Gnedash G.O., Shevchuk S.I., Presich G.O., Stepanova A.I. Improvement of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler plants // International scientific and practical conference «Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience», 2019. P. 37-40.
 6. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient // Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. 2010. Paper. 11258018. P. 4.
doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523
 7. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 6/8 (96). P. 43-48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
 8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovskiy M. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // International scientific journal "Internauka". 2019. №15(1). P. 61-63.
 9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes // International scientific journal "Internauka". 2019. №12(74). P. 30-33.
 10. Степанова А. И. Оптимизация параметров теплообменной поверхности контактного пластинчатого воздухоподогревателя комбинированной

теплоутилизационной системы котельной установки // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. №242. С. 170-178.

References

1. Fialko N., Prokopov V., Navrodska R., Shevchuk S., Sliusar A. Issledovanie sostava dymovykh gazov steklovarenykh pechey [Research of the composition of exhaust gases of glass-melting furnaces] // International scientific journal "Internauka". 2021. № 6. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>
2. Fialko N.M., Stepanova A.I., Navrodska R.A. Effektivnost teploutilizatorov steklovarenykh pechey v usloviakh zapylennosti poverkhnostey nagreva [Efficiency heat exchanger glass furnaces in dusty conditions of heating surfaces] // Energy and Automation. 2016. №3. P. 28-35.
3. Fialko N., Navrodska R., Ulewicz M., Gnedash G., Alioshko S., Shevcuk S. Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants // DOK E3S Web Conf. (11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO). 2019. Vol. 100, P. 00015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>
4. Fialko N.M., Gnedash G.O., Navrodska R.O, Presich G.O., Shevchuk S.I. Pidvyshchennia efektyvnosti kombinovanykh teploutylizatsiynykh system gazospozhyvalnykh kotelnykh ustanovok [Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations] // Scientific Bulletin of UNFU. 2019. Vol. 29, №6. P.79–82.
5. Fialko N.M., Gnedash G.O., Shevchuk S.I., Presich G.O., Stepanova A.I. Improvement of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler plants // International scientific and practical conference «Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience», 2019, P. 37-40.

6. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient // Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. 2010. Paper. 11258018. P. 4. doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523
7. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 6/8 (96). P. 43-48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovsky M. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // International scientific journal "Internauka". 2019. №15(1). P. 61-63.
9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes // International scientific journal "Internauka". 2019. №12(74). P. 30-33.
10. Stepanova A. Optimization of parameters of the heat exchange surface of the contact plate air heater of the combined heat utilization system of the boiler installation // Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2016. №242. P. 170-178.