

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 697.353

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

**Байбаков Руслан Анатольевич**, магистрант, направление подготовки 08.04.01 Строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: baibakov.ruslan@yandex.ru

Научный руководитель: **Закируллин Рустам Сабирович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: rustam.zakirullin@gmail.com

***Аннотация.** Ввиду высокой стоимости энергоресурсов актуальность повышения эффективности работы энергетического оборудования обуславливается экономией топливно-энергетических ресурсов. Цель статьи – выявить наиболее эффективный метод увеличения КПД водогрейного котла. Модернизация действующих котлов рассматривается как наиболее приемлемый вариант, так как она не требует значительных инвестиционных затрат, может быть выполнена в короткие сроки, значительно сокращая затраты на выработку тепловой энергии. Практической значимостью является то, что, используя мероприятие, описываемое в данной статье, можно на практике применить и реализовать его в действующей котельной. Метод утилизации дымовых газов является экономически целесообразным, так как несет минимальное количество затрат с относительно высокой эффективностью работы. В дальнейшей работе необходимо провести расчет, а также подбор оборудования, в результате чего предполагается на практике применить установку охлаждения дымовых газов в котельной.*

***Ключевые слова:** энергосбережение, модернизация, режимная наладка, повышение КПД.*

***Для цитирования:** Байбаков Р. А. Анализ состояния и разработка мероприятий по повышению эффективности водогрейных котлов // Шаг в науку. – 2023. – № 1. – С. 17–20.*

### ANALYSIS OF THE CONDITION AND DEVELOPMENT OF MEASURES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF HOT WATER BOILERS

**Baibakov Ruslan Anatolevich**, postgraduate student, training program 08.04.01 Construction, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: baibakov.ruslan@yandex.ru

Research advisor: **Zakirullin Rustam Sabirovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydromechanics, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: rustam.zakirullin@gmail.com

***Abstract.** Due to the high cost of energy resources, the relevance of improving the efficiency of power equipment is due to the economy of fuel and energy resources. The purpose of the article is to identify the most effective method of increasing the efficiency of a hot water boiler. Modernization of existing boilers is considered as the most acceptable option, since it does not require significant investment costs, can be carried out in a short time, significantly reducing the cost of generating thermal energy. The practical significance is that using the event described in this article, it is possible to apply and implement it in practice in an operating boiler room. The method of flue gas utilization is economically feasible, since it carries a minimum amount of costs with relatively high work efficiency. In further work, it is necessary to carry out the calculation, as well as the selection of equipment, as a result of which it is assumed to put into practice the flue gas cooling system in the boiler room.*

**Key words:** energy saving, modernization, regime adjustment, efficiency improvement.

**Cite as:** Baibakov, R. A. (2023) [Analysis of the condition and development of measures to improve the efficiency of hot water boilers]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 1, pp. 17–20.

Ввиду высокой стоимости энергоресурсов, а также ограниченного запаса природных ресурсов, более актуальным становится вопрос повышения эффективности энергетического оборудования. Модернизация действующих котлов рассматривается как наиболее приемлемый вариант, так как она не требует значительных инвестиционных затрат, может быть выполнена в короткие сроки, значительно сокращая затраты на выработку тепловой энергии.

Наиболее распространенными источниками те-

пловой энергии являются водогрейные котлы. Рассмотрим методы повышения эффективности работы водогрейных котлов на примере котла КСВ-2,9.

Котел КСВ-2,9 – стальной водогрейный котел. Состоит из вертикального среднего, вертикального правого, вертикального левого, потолочного топочных экранов и конвективной части. На действующей котельной города Оренбурга для определения характеристик работы котла проведены режимно-наладочные испытания, результаты сведены в таблице 1<sup>1</sup> [7].

Таблица 1. Сводная таблица результатов режимно-наладочных работ на котле КСВ-2,9 ст. № 1 при сжигании природного газа

| № п/п   | Наименование параметра   | Условное обозначение | Способ определения | Нагрузка котла в % от $Q_{ном}$ |      |       |
|---|--|----------------------|--------------------|---------------------------------|------|-------|
|   |  |                      |                    | 33                              | 68   | 96    |
| 1. Топливо – природный газ                            |  |                      |                    |                                 |      |       |
| 1   | Низшая теплота природного газа, ккал/м <sup>3</sup>              | $Q_H^P$              | Данные паспорта    | 8512                            | 8512 | 8512  |
| 2   | Давление газа перед котлом, кгс/см <sup>2</sup>                  | $P_k$                | Показания прибора  | 2,80                            | 2,80 | 2,80  |
| 3   | Давление газа перед горелкой, кПа                                | $P_r$                | Показания прибора  | 0,9                             | 1,1  | 2,3   |
| 4   | Расход газа на котел, нм <sup>3</sup> /ч                         | $B_r$                | Показания прибора  | 105                             | 217  | 308   |
| 2. Вода   |  |                      |                    |                                 |      |       |
| 5   | Расход воды через котел по обратному балансу (м <sup>3</sup> /ч) | $G_b$                | Расчет             | 109                             | 109  | 109   |
| 6   | Давление воды на выходе из котла, кгс/см <sup>2</sup>            | $P''$                | Показания прибора  | 3,7                             | 3,7  | 3,7   |
| 7   | Температура воды на входе в котел, °С                            | $t'$                 | Показания прибора  | 61,5                            | 64,0 | 67,0  |
| 8   | Температура воды на выходе из котла, °С                          | $t''$                | Показания прибора  | 69,0                            | 79,5 | 89,0  |
| 9   | Теплопроизводительность котла, Гкал/ч                            | $Q_k$                | Расчет             | 0,81                            | 1,69 | 2,39  |
| 10  | Теплопроизводительность котла, МВт                               | $Q_k'$               | Расчет             | 0,95                            | 1,97 | 2,79  |
| 3. Газовоздушный тракт                                |  |                      |                    |                                 |      |       |
| 11  | Давление воздуха перед горелкой, кПа                             | $P_b$                | Показания прибора  | 0,4                             | 0,5  | 0,8   |
| 12  | Температура воздуха на горение, °С                               | $t_{xb}$             | Показания прибора  | 20                              | 20   | 20    |
| 13  | Температура уходящих газов, °С                                   | $t_{vx}$             | Показания прибора  | 156                             | 170  | 200   |
| 14  | Состав дымовых газов:  |                      |                    |                                 |      |       |
|   | углекислый газ, %  | CO <sub>2</sub>      | Показания прибора  | 9,10                            | 9,50 | 10,20 |
|   | кислород, %  | O <sub>2</sub>       | Показания прибора  | 5,2                             | 4,4  | 4,1   |
|   | окись углерода, %  | CO                   | Показания прибора  | 0                               | 0    | 0     |
| 15  | Коэффициент избытка воздуха                                      | $a$                  | Расчет             | 1,30                            | 1,24 | 1,22  |
| 4. Тепловой баланс и технико-экономические показатели |  |                      |                    |                                 |      |       |
| 16  | Потери тепла с уходящими газами, %                               | $q_2$                | Расчет             | 7,36                            | 8,00 | 8,42  |
| 17  | Величина Z   | Z                    | Таблица            | 5,41                            | 5,33 | 4,68  |
| 18  | Потери тепла от химического недожога, %                          | $q_3$                | Расчет             | 0                               | 0    | 0     |
| 19  | Потери тепла в окружающую среду, %                               | $q_5$                | Расчет             | 1,51                            | 0,73 | 0,51  |
| 20  | Номинальная теплопроизводительность котла, МВт                   | $Q_{ном}$            | Паспорт            | 2,9                             | 2,9  | 2,9   |
| 21  | Сумма потерь тепла, %  | $\sum q$             | Расчет             | 8,87                            | 8,73 | 8,94  |

<sup>1</sup> СП 131.13330.2020 Строительная климатология. – М.: Стандартинформ, 2021. – 154 с.

Продолжение таблицы 1

| № п/п | Наименование параметра   | Условное обозначение | Способ определения | Нагрузка котла в % от $Q_{ном}$ |        |        |
|-------|--|----------------------|--------------------|---------------------------------|--------|--------|
|       |  |                      |                    | 33                              | 68     | 96     |
| 22    | КПД брутто, %  | $\eta$               | Расчет             | 91,13                           | 91,27  | 91,06  |
| 23    | Удельный расход натурального топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг/Гкал      | $B_{нт}$             | Расчет             | 128,91                          | 128,71 | 129,01 |
| 24    | Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг усл. т./Гкал | $B_{ут}$             | Расчет             | 156,76                          | 156,51 | 156,88 |

По результатам испытаний рассмотрим возможные мероприятия повышения эффективности работы данного котла:

1. Снижение потерь тепла с уходящими дымовыми газами [1, 5]:

- уменьшение присосов воздуха и исключение отклонений от нормы величины коэффициента избытка воздуха в топке котла;
- модернизация котлов, сжигающих твердое и жидкое топливо, на работу с газообразным топливом;
- наращивание площадей хвостовых поверхностей нагрева котла;
- регулярная очистка поверхностей нагрева котла позволит увеличить коэффициент теплопередачи;
- соблюдение оптимальной температуры питательной воды.

2. Усовершенствование системы химической водоподготовки (для уменьшения образования отложений на поверхностях нагрева котла) [3]. Для требуемого качества воды применяют различные технологии подготовки (химочистка, фильтрование, отстаивание, осаждение, десорбция).

3. Модернизация конструкций водогрейных котлов [6, 7]:

- увеличение эффективности водогрейных котлов за счет перегрева в допустимом диапазоне хвостовых поверхностей нагрева;
- газификация котельных и модернизация оборудования приводит к улучшению технико-экономических параметров;
- уменьшить тепловые потери можно заменой обмуровки котлов, что позволит поднять общую

эффективность работы котельной на 1,5–2% [3].

Наиболее приемлемым вариантом, исходя из параметров котла КВС-2,9, является установка калорифера, для утилизации дымовых газов. В настоящее время температура дымовых газов, выходящих из котла, не снижается ниже 156 °С. Для подбора оборудования необходимо учитывать то, что при понижении температуры уходящих газов возможно образование конденсата, что пагубно влияет на состояние дымовой трубы, а также снижение естественной тяги [4].

Потери с уходящими дымовыми газами – это ключевой фактор из составляющих в уравнении теплового баланса. В паровых котлах, для уменьшения теплопотерь с дымовыми газами, устанавливаются экономайзеры и температура дымовых газов достигает около 150–200 °С, а в водогрейных котлах дополнительное охлаждение не предусмотрено и дымовые газы выбрасываются в атмосферу. В водогрейных котлах при этом потери тепла с уходящими дымовыми газами варьируются до 10%.

Сегодня используются различные утилизаторы тепла, температура дымовых газов в которых охлаждаются до температуры чуть выше точки росы, а тепловая энергия дымовых газов используется в качестве подогрева подпиточной воды или горячего водоснабжения [8]. Расход топлива, при использовании утилизаторов теплоты, снижается от 5 до 10%.

В статье Буракова А. А. рассмотрено техническое решение по охлаждению уходящих дымовых газов [2].

Принципиальная тепловая схема технического решения изображена на рисунке 1.

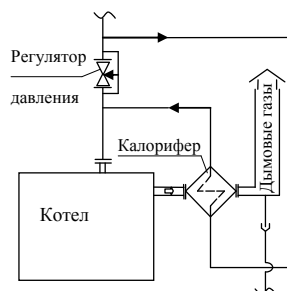


Рисунок 1. Тепловая схема

Источник: заимствовано из работы [2]

На выходе дымовых газов из котла устанавливается воздушный калорифер, в водяной контур поступает часть сетевой воды, которая нагревается в калорифере и подмешивается к сетевой воде перед котлом. Слив конденсата с дымовой трубы предусмотрен в дренажный приемок котельной. Распределение потоков настраивается регулятором давления [2, 4].

В ходе проведенного исследования были рассмотрены методы повышения КПД водогрейного котла, выбрано наиболее оптимальное мероприятие – утилизация дымовых газов. Взаимосвязь

между КПД и удельной выработкой тепла очевидна – при увеличении КПД экономические показатели котла – удельный расход топлива, и соответственно расход топлива за отопительный период, резко снижаются. Метод утилизации дымовых газов является экономически целесообразным, так как несет минимальное количество затрат с относительно высокой эффективностью работы. В своей дальнейшей работе необходимо провести расчет, а также подбор оборудования, в результате чего предполагается на практике применить установку охлаждения дымовых газов в котельной г. Оренбурга.

### Литература

1. Аронов И. З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных – М.: Энергия, 1967. – 192 с.
2. Бураков А. А. Система охлаждения уходящих газов // Научный Лидер. – 2021. – № 42 (44). – С. 318–321.
3. Журавлев В. А. Энергосбережение в котельных // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. – 2019. – № 13. – С. 157–158.
4. Илалетдинов Л. Ф. Опыт применения дополнительного охлаждения дымовых газов в Удмуртской Республике // Новости теплоснабжения – 2014. – № 5 (165). – URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3235](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3235) (дата обращения: 24.11.2022).
5. Кудинов А. А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 139 с.
6. Стаскевич Н. Л., Северинец Г. Н., Вигдорчик, Д. Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа – Л.: Недра, 1990. – 761 с.
7. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Издание 3-е переработанное и дополненное / Петросян Р. А. [и др.] – СПб.; НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
8. Zajacs A., Zeiza-Selezņova A., Rusovs D. (2020) Impact of Flue Gas Recirculation on the Efficiency of Hot-water Boilers. *Construction of Unique Buildings and Structures*. No. 8. – Vol. (93). – P. 9304, <https://doi.org/10.18720/CUBS.93.4>.

Статья поступила в редакцию: 26.11.2022; принята в печать: 03.03.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.