

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛА ТГМ-94 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

*Шапошников В.В., Батько Д.Н., Михалко Я.О.*

*Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар*

**Ключевые слова:** Краснодарская ТЭЦ, паровой котел, математическая модель.

**Аннотация.** В статье производится оценка влияния ключевых параметров котла при изменении температуры питательной воды на входе в котел. Исследование работы котла производилось при нескольких режимах работы с помощью математической модели котла ТГМ-94 энергоблока № 4 Краснодарской ТЭЦ разработанной в программе Boiler Designer.

Проведено исследование работы котла при переменной нагрузке, но с постоянной температурой питательной воды, равной номинальному значению 230 °С. В этом режиме происходит снижения расхода топлива на 1,74 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , но требуется включение дымососов рециркуляции дымовых газов для поддержания температуры перегрева основного и вторичного пара. Проведены исследования работы котла с постоянной паропроизводительностью при пониженной температуре питательной воды. Выяснилось, что такая работа приводит к увеличению расхода топлива с 42,5 до 47,7 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . В случае поддержания паропроизводительности требуется дополнительная оценка мощности горелочных устройств и температурного состояния поверхностей нагрева из-за значительного возрастания температуры перегрева как основного, так и вторичного пара.

## RESEARCH OF THE OPERATION OF THE TGM-94 BOILER AT THE CHANGE OF THE FEED WATER'S TEMPERATURE

*Shaposhnikov V.V., Batko D.N., Mihalko Ya.O.*

*Kuban state technological university, Krasnodar*

**Keywords:** Krasnodar combined heat and power plant (CHPP), steam boiler, mathematical model.

**Abstract.** The article assesses the influence of the key parameters of the boiler in case of the feed water's temperature changes at the boiler inlet. The research of the boiler operation was performed in several operating modes using a mathematical model of the TGM-94 boiler of the Unit 4 of the Krasnodar CHPP developed in the Boiler Designer.

Authors studied the boiler's operation under variable load with a constant feed water temperature equal to the nominal value of 230 °C. Within this mode fuel consumption is reduced by 1 740  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , but it is necessary to turn on the flue gas recirculation pumps to maintain the superheating temperature of the main and secondary steam. Studies of the operation of a boiler with a constant steam capacity at a low feed water temperature were carried out. The results show that it leads to an increase in fuel consumption from 42 500 to 47 700  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . If steam capacity is maintained, an additional assessment of the power of the burner devices and the temperature state of the heating surfaces is required due to a significant increase in the superheating temperature of both the main and secondary steam.

В настоящее время в энергетике наблюдается увеличение выработки электроэнергии за счет альтернативных источников энергии. Однако в большинстве стран основу энергетики составляют мощные тепловые электрические станции.

Увеличение выработки электроэнергии за счет ветровых и солнечных электрических станций приводит к увеличению неравномерности суточного

графика электрических нагрузок. В целях увеличения маневренности энергосистемы в некоторых странах задействуют угольные паротурбинные установки [1].

В последнее время наблюдается увеличение количества научных разработок, посвященных различным методам повышения пиковой мощности и расширения регулировочного диапазона паротурбинных установок [2].

Ряд ученых из разных стран занимаются созданием схем, позволяющих внедрить солнечные коллекторы с заменой регенеративных отборов пара на подогреватели питательной воды высокого давления, которые приведут к повышению пиковой мощности и эффективности паротурбинных установок при высокой солнечной активности [3].

Существуют исследования, направленные на более глубокое охлаждение дымовых газов в паровых котлах паротурбинных установок за счет установки дополнительного экономайзера для подогрева питательной воды [4].

Авторским коллективом разработана схема совместной работы паротурбинной и парогазовой установки [5, 6].

Рассмотренные методы повышения пиковой мощности и расширения регулировочного диапазона паротурбинных установок влияют на температуру питательной воды, которая приводит к изменению эффективности работы котельного агрегата.

В этой статье приведены результаты оценки влияния на работу котла при изменении температуры питательной воды на базе математической модели парового котла ТГМ-94 ранее разработанной в программном продукте Boiler Designer.

### **Описание объекта исследования**

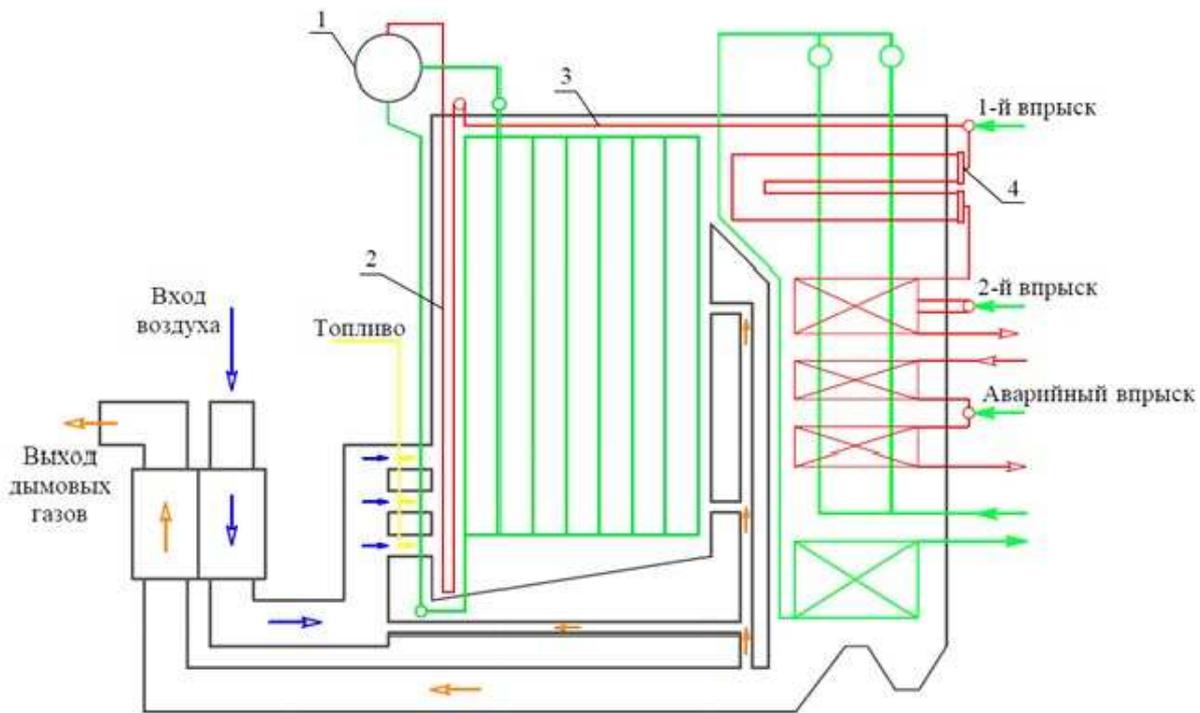
Объектом исследования выбран паровой котел ТГМ-94 энергоблока № 4 Краснодарской ТЭЦ. Принципиальная схема приведена на рисунке 1. В качестве топлива используется природный газ или мазут, для сжигания которого установлены девять комбинированных газомазутных горелок.

Для упрощения на схеме не указаны фронтальный, подовой и задний экраны топки, из всех поверхностей настенного экономайзера указана только та, которая расположена на наклонной стене поворотной камеры. Также на схеме не отображены нагнетатели: вентиляторы и дымососы.

### **Результаты исследования работы котла ТГМ-94 при изменении температуры питательной воды**

Существующие методы повышения пиковой мощности и расширения регулировочного диапазона паротурбинных установок оказывают влияние на температуру питательной воды перед паровым котлом, что приводит к изменению эффективности работы котельного агрегата.

При снижении нагрузки паротурбинного энергоблока уменьшается давление пара в регенеративных отборах турбины, которое приводит к снижению температуры питательной воды на входе в котел. Для поддержания постоянной температуры питательной воды будет использоваться сторонний источник теплоты.



1 – барабан, 2 – радиационный пароперегреватель, 3 – потолочный пароперегреватель, 4 – ширмовый пароперегреватель, 5 – конвективный пароперегреватель, 6 – первая ступень вторичного пароперегревателя, 7 – вторая ступень вторичного пароперегревателя, 8 – экономайзер (две ступени), 9 – регенеративный воздухоподогреватель, 10 – подвесные трубы, 11 – установка собственного конденсата, 12 – настенный экономайзер, 13 – экранные трубы топки, 14 – газоход рециркуляции

Рис. 1. Принципиальная схема парового котла ТГМ-94

Моделирования режимов работы котла ТГМ-94 энергоблока № 4 Краснодарской ТЭЦ использовалась математическая модель, разработанная в программе Boiler Designer и содержащая расчетные схемы газового и пароводяного трактов котла с заданием параметров согласно данных завода-изготовителя.

При рассмотрении режима работы котла во всем диапазоне нагрузок с сохранением температура питательной воды равной номинальному значению 230 °С большинство параметров остались постоянными или изменились незначительно, в том числе и КПД. Математическая модель котла показала, что повышение температуры питательной воды привело к снижению расхода топлива (рисунок 2), оказавшее влияние на скорость продуктов сгорания в конвективной части. Наблюдалось понижение температуры острого и вторичного пара (рисунки 3, 4).

Результаты исследования показали, что при режиме работы котла с поддержанием температуры питательной воды за счет теплоты стороннего источника для поддержания температуры перегрева основного и вторичного пара необходимо включение дымососов рециркуляции дымовых газов.

При работе парового котла ТГМ-94 с переменной температурой питательной воды на входе исследования производились для двух режимов:

- 1) расход топлива постоянный, равный номинальному;
- 2) номинальная паропроизводительность (500 т/ч) за счет изменения расхода природного газа (рисунки 5, 6).

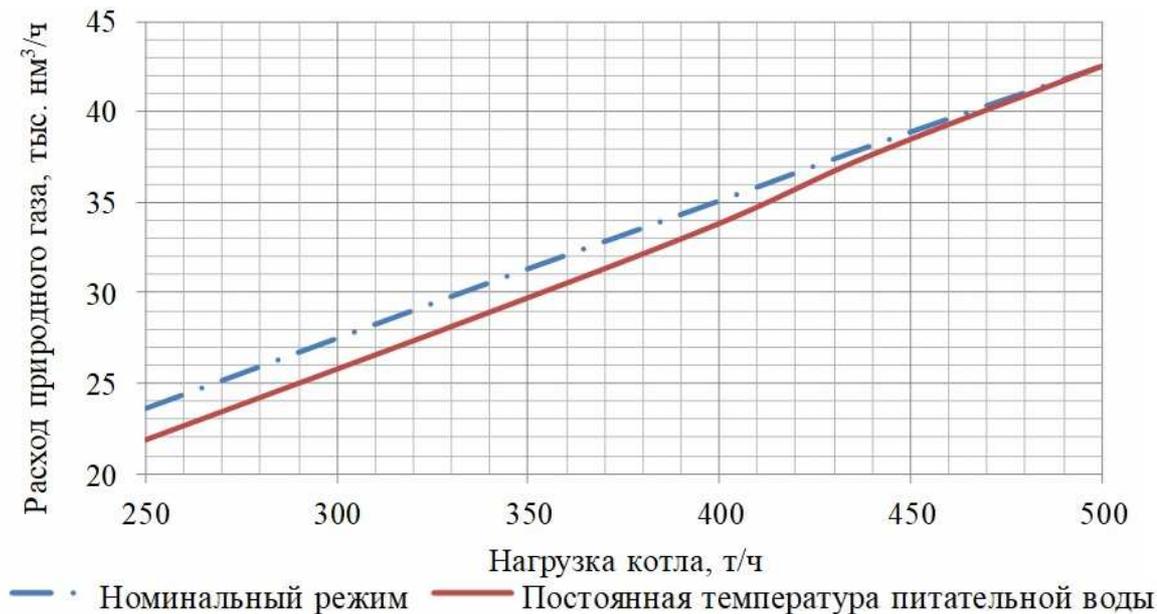


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от нагрузки

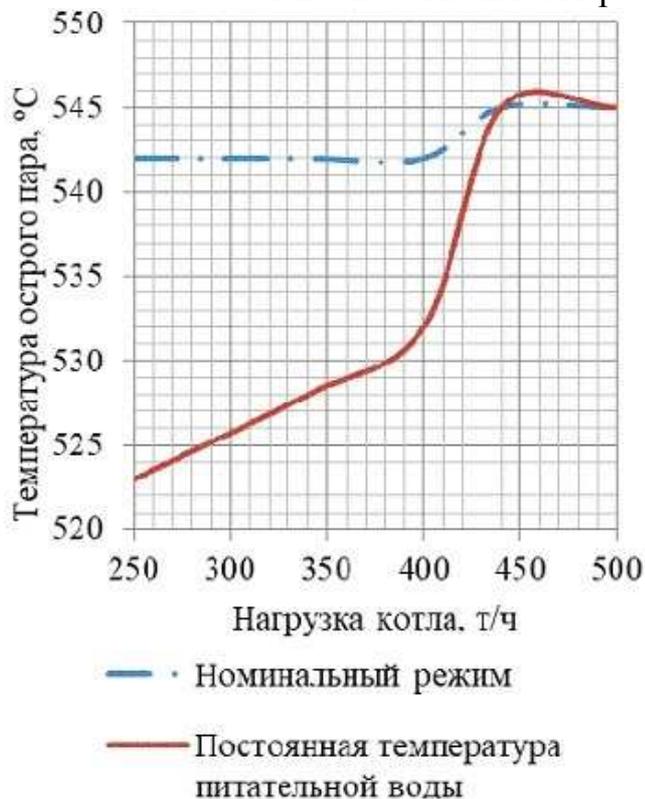


Рис. 3. Зависимость температуры острого пара от нагрузки

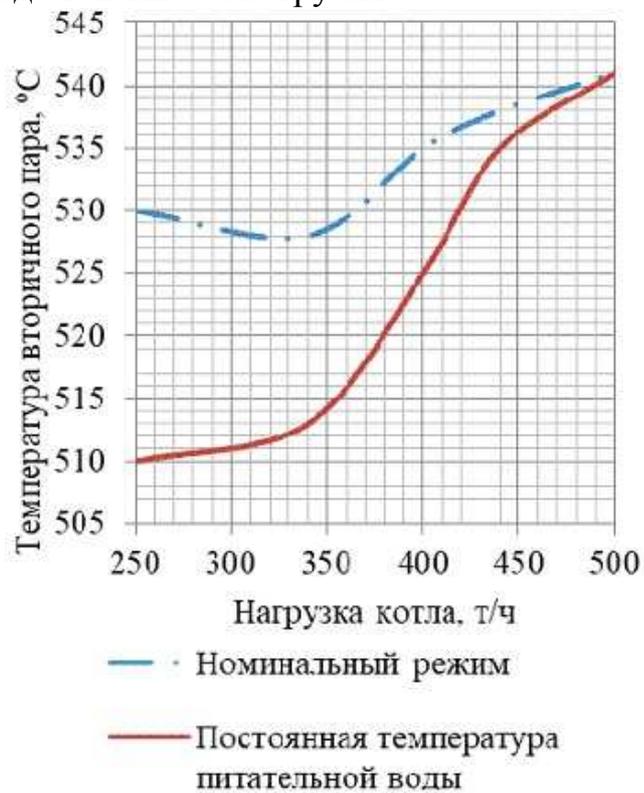


Рис. 4. Зависимость температуры вторичного пара от нагрузки

В режиме работы котла с постоянным расходом топлива и пониженной температурой питательной воды на входе прирост КПД составил 0.3%. При изменении температуры питательной воды от 230 до 170 °С снижается паропроизводительность с 500 до 453 т/ч. Уменьшение паропроизводительности на 47 т/ч существенно отражается на мощности паровой турбины.

При работе котла с постоянной паропроизводительностью при пониженной температуре питательной воды на входе изменение КПД не выявлено. Изменения в 0,1% находятся в зоне погрешности. При том же диапазоне изменений температуры наблюдается увеличение расхода топлива с 42,5 до 47,7 тыс. нм<sup>3</sup>/ч.



рециркуляции дымовых газов для поддержания температуры перегрева основного и вторичного пара.

Исследование режима работы котла ТГМ-94 с сохранением расхода природного газа и переменной температурой питательной воды от 230 до 170 °С наблюдается прирост КПД на 0,3%, но снижение расхода острого пара на 47 т/ч.

При режиме работы котла с сохранением паропроизводительности необходима дополнительная оценка возможности повышения мощности горелочных устройств. Из-за значительного возрастания температуры перегрева основного и вторичного пара необходим анализ температурного состояния поверхностей нагрева.

#### Список литературы

1. Zhao Y., Liu M., Wang C., Wang Z., Chong D. and Yan J. Exergy analysis of the regulating measures of operational flexibility in supercritical coal-fired power plants during transient processes // *Applied Energy* 2019. 253. 113487
2. Мошкарин А.В. Оценка показателей работы мощных одноцелевых парогазовых и паросиловых энергоблоков на частичных нагрузках / А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников // *Вестник ИГЭУ*. – 2007. – Вып. 2. – С. 1-4.
3. Qin J., Hu E., Nathan G.J. and Chen L. 2018 Mixed mode operation for the solar aided power generation // *Applied Thermal Engineering* 2018. 139. 177-86.
4. Stevanovic V.D., Wala T., Muszynski S. and Milic M. Efficiency and power upgrade by an additional high pressure economizer installation at an aged 620 MWe lignite-fired power plant // *Energy* 2014. 66. 907-18.
5. Шапошников В.В. Обзор методов получения дополнительной пиковой мощности паросиловых установок за счет отключения и вытеснения регенеративных отборов / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, Д.Н. Батько, Я.О. Михалко // *Промышленная энергетика*. – 2020. – №2. – С. 21-33.
6. Патент 2691881 РФ. Тепловая электрическая станция / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, А.А. Трофименко, Д.Н. Батько. – № 2018124921; заявл. 06.07.18; опубл. 18.06.19, Бюл. №17.

#### Сведения об авторах:

*Шапошников Валентин Васильевич* – к.т.н., доцент, КубГТУ, г. Краснодар;

*Батько Дмитрий Николаевич* – аспирант, КубГТУ, г. Краснодар;

*Михалко Ярослав Олегович* – аспирант, КубГТУ, г. Краснодар.