

doi: 10.51639/2713-0576_2021_1_2_9
УДК 621.311.22
ГРНТИ 44.31.31
ВАК 05.14.14

Разработка способа повышения энергоэффективности ТЭЦ за счет снижения температуры добавочной питательной воды энергетических котлов

* Абулеев А. Д., Лытяков Е. С., Орлов М. Е.

УлГТУ, 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32

e-mail: * abuleev731@mail.ru, e.lytyakov@mail.ru, mi5h@mail.ru

Цель исследования – повышение энергетической и экономической эффективности теплоэнергетических котлов за счет снижения температуры деаэрированной добавочной питательной воды с помощью газо-водяного теплообменника и ввода этой воды в оптимальное с точки зрения экономичности и энергетической эффективности место тракта основного конденсата турбин. В статье предложена принципиально новая технология повышения удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, а также выполнен расчет эффективности предлагаемого решения. Основной отличительной чертой данного решения является снижение температуры добавочной питательной воды котлов теплоэнергетических установок. В результате технико-экономических расчетов установлено, что разработанный способ увеличения удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет снижения температуры добавочной питательной воды энергетических котлов ТЭЦ позволяет сэкономить до 4,444 млн. руб. в год.

Ключевые слова: теплообменник охладитель, удельная выработка, условное топливо, деаэратор, конденсат, регенеративный подогреватель.

Введение

Экономичность промышленно-отопительных ТЭЦ существенно зависит от технологии подготовки добавочной питательной воды, которой восполняют потери отпускаемого пара на промышленные нужды. Оптимальное использование низкопотенциальных источников теплоты позволяет повысить экономичность электростанции за счёт дополнительной выработки электрической энергии на тепловом потреблении. Как известно, существует множество способов использования низкопотенциальных источников теплоты с помощью теплонасосных установок или турбодетандеров, внедрение которых требует больших капитальных затрат [1].

В работе были решены следующие задачи:

1. Разработана новая экономически эффективная технология снижения температуры добавочной питательной воды с помощью газо-водяного теплообменника охладителя.
2. Произведен расчет энергетической эффективности разработанной технологии снижения температуры деаэрированной добавочной питательной воды и ввода этой воды в оптимальное с точки зрения экономичности и энергетической эффективности место тракта основного конденсата турбин.

Новая технология снижения температуры добавочной питательной воды энергетических котлов

На кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция им. В. И. Шарапова» УлГТУ авторами разработан новый эффективный способ увеличения выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет увеличения расхода пара и снижения энтальпии этого пара в отборах на подогреватели низкого давления.

Данный способ достигается путем включения в тракт добавочной питательной воды теплообменника-охладителя, что приводит к понижению температуры основного конденсата после смешения с добавочной питательной водой. Кроме того, особенность предложенной технологии состоит в том, что использование газо-водяного теплообменника-охладителя позволяет не только снизить температуру деаэрированной добавочной питательной воды котлов, но и увеличить температуру газообразного топлива перед горелками котлов, тем самым повысить экономичность как узла деаэрации добавочной питательной воды котлов, так и теплоэнергетической установки в целом за счет ввода охлажденной деаэрированной добавочной питательной воды в трубопровод основного конденсата и улучшения процесса горения подогретого газообразного топлива в горелках котлов.

Принципиальная тепловая схема ТЭЦ подготовки воды, работающей по предложенной технологии, представлена на рис. 1. Деаэрированная добавочная питательная вода из деаэратора 1 по трубопроводу 2 деаэрированной добавочной питательной воды поступает в теплообменник-охладитель 3, где охлаждается газом, подаваемым в горелки 5 котлов 6. Охлажденная в теплообменнике-охладителе 3 деаэрированная добавочная питательная вода подается в тракт 7 основного конденсата турбины 8 между конденсатором 9 и конденсатным насосом 10.

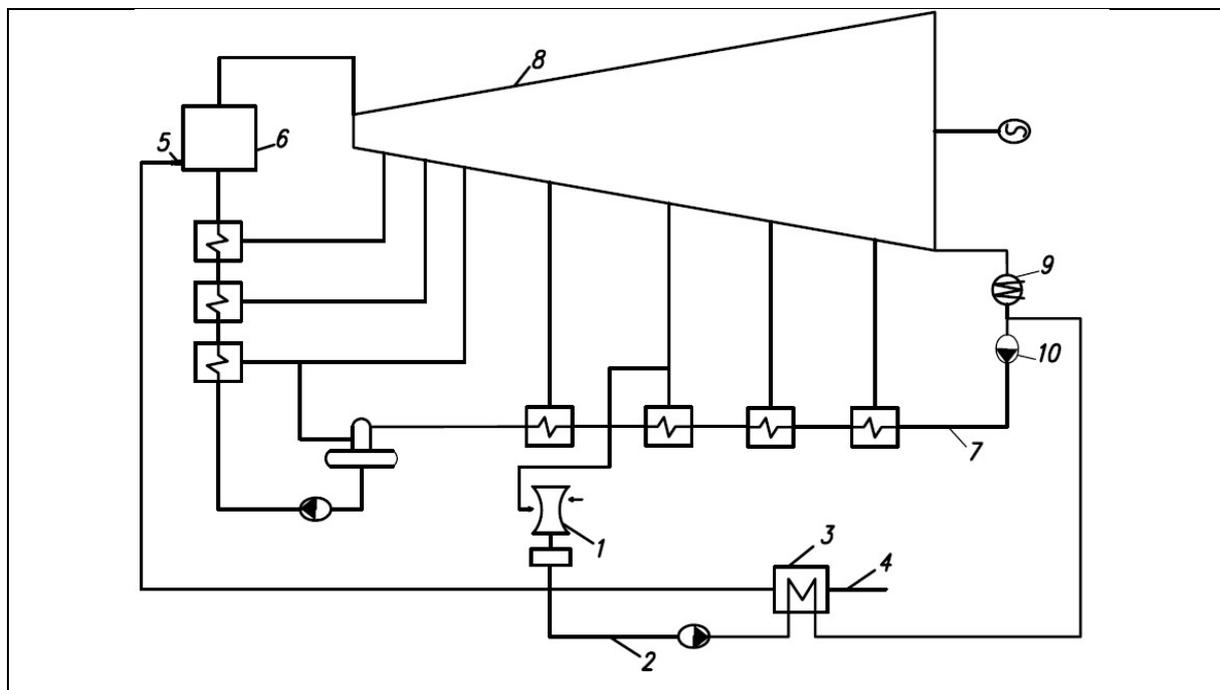


Рис. 1. Тепловая схема ТЭЦ с газо-водяным теплообменником-охладителем добавочной питательной воды: 1 – деаэратор добавочной питательной воды; 2 – трубопровод деаэрированной добавочной питательной воды; 3 – теплообменник-охладитель; 4 – трубопровод природного газа; 5 – горелки котлов; 6 – котел; 7 – трубопровод тракта основного конденсата турбины; 8 – турбина; 9 – конденсатор; 10 – конденсатный насос

Расчет энергетической эффективности разработанного технического решения

Произведем расчет энергетической эффективности нового решения подготовки добавочной питательной воды, экономичность предложенной технологии оценим по величине годовой экономии условного топлива для ТЭЦ с турбиной Т-100-130 [2].

Годовая экономия условного топлива, $V_{\text{эк}}$, т/год, на ТЭЦ при использовании новой технологии может быть представлена как [2]

$$V_{\text{эк}} = \Delta V - V_{\Delta D}, \quad (1)$$

где ΔV – изменение расхода условного топлива, при изменении выработки электроэнергии на тепловом потреблении, т/год; $V_{\Delta D}$ – изменение расхода условного топлива, при изменении выработки пара в котле, т/год.

Примем следующие исходные данные:

- температура основного конденсата турбины $t_{\text{осн.к.}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($h_{\text{осн.к.}} = 146,64 \text{ кДж}$);
- температура деаэрированной воды после деаэратора $t_{\text{д.в.}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($h_{\text{д.в.}} = 252,46 \text{ кДж/кг}$);
- расход исходной (добавочной питательной воды) $G_{\text{исх}} = 300 \text{ т/ч} = 83,3 \text{ кг/с}$;
- расход основного конденсата турбины $G_{\text{исх}} = 100 \text{ т/ч} = 27,7 \text{ кг/с}$.

Дополнительная выработка электрической энергии на тепловом потреблении при работе электростанции по предложенной технологии достигается за счет увеличения расхода пара и снижения энтальпии этого пара на подогреватели низкого давления.

Определим теплофикационную мощность турбоустановки $N_{\text{тф}}^{3.\text{отб}}$, кВт при стандартной технологии [4].

Мощность $N_{\text{тф}}^{3.\text{отб}}$, кВт, развиваемую турбиной на тепловом потреблении за счет третьего отбора пара на подогрев потока исходной деаэрированной воды, кг/с;

$$N_{\text{тф}}^{3.\text{отб}} = \Delta D_{3.\text{отб}} \times (i_0 - i_{3.\text{отб}}) \eta_{\text{э}} \times \eta_{\text{м}}, \quad (2)$$

где $\Delta D_{3.\text{отб}}$ – увеличение расхода пара из третьего отбора в деаэратор повышенного давления для подогрева исходной деаэрированной воды, кг/с; $i_0 = 3485 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия перегретого пара турбины; $i_{3.\text{отб}} = 3023 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия пара третьего отбора.

Мощность $N_{\text{рег}}^{3.\text{отб}}$, кВт, вырабатываемая паром третьего регенеративного отбора, расходуемым на подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потока исходной деаэрированной воды в деаэраторе повышенного давления, определим по формуле [2]:

$$N_{\text{рег}}^{3.\text{отб}} = D_{\text{рег.3.отб}} \times (i_0 - i_{\text{рег.3.отб}}^{\text{э}}) \eta_{\text{э}} \times \eta_{\text{м}}, \quad (3)$$

Определим величину удельной выработки электроэнергии на 1 м^3 питательной воды по формуле [4]:

$$v_{\text{тф}}^{\text{увэТП.3.отб}} = \frac{\Sigma N}{G_{\text{исх.в}}}, \text{ кВт} \times \text{ч/м}^3, \quad (4)$$

Далее найдем температуру смешанного потока основного конденсата турбины и добавочной питательной воды. Для этого определим температуру добавочной питательной воды после газо-водяного теплообменника охладителя. С целью составления уравнения теплового баланса для теплообменника охладителя природного газа примем температуры газа на входе в теплообменник $t_{\text{п.г}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и величину недогрева в нем $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [3].

$$t'_{\text{д.в.}} = t_{\text{д.в.}} - \frac{G_{\text{п.г}} \times (h'_{\text{п.г.}} - h_{\text{п.г.}})}{G_{\text{д.в.}} \times C_{\text{д.в}}}, \quad (5)$$

где $t'_{\text{д.в.}}$ – температура деаэрированной воды на выходе из теплообменника, $^\circ\text{C}$; $G_{\text{п.г.}}$ – массовый расход природного газа, кг/с; $t_{\text{п.г.}}$ – температура газа на входе в теплообменник, $^\circ\text{C}$; $C_{\text{д.в.}}$ – удельная массовая теплоемкость воды, Дж/(кг $^\circ\text{C}$);

Полученной температуре деаэрированной воды $t'_{\text{д.в.}} = 56,37 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствует энтальпия $h_{\text{д.в.}} = 235,89 \text{ кДж/кг}$;

Определяем температуру смешанного потока основного конденсата турбины и добавочной питательной воды $t_{\text{см}}$, $^\circ\text{C}$, для этого составим уравнение теплового баланса точки смешения потоков [3].

$$h_k = \frac{h_{\text{осн.к}} \times G_{\text{осн.к}} + h_{\text{д.в}} \times G_{\text{д.в}}}{G_{\text{осн.к}} + G_{\text{д.в}}}, \quad (6)$$

где $h_{\text{осн.к}}$ – энтальпия основного конденсата, кДж/кг; $G_{\text{осн.к}}$ – расход основного конденсата, кг/с; $h_{\text{д.в}}$ – энтальпия деаэрированной воды, кДж/кг.; $G_{\text{д.в}}$ – расход деаэрированной воды, кг/с. Увеличение мощности $\Delta N_{\text{рег}}^{6.\text{отб}}$, кВт, вырабатываемой паром регенеративного отбора, расходуемым на подогрев конденсата пара, используемого для подогрева потока смешанного потока основного конденсата пара турбины и деаэрированной добавочной питательной воды, определим по формуле:

$$\Delta N_{\text{рег}}^{6.\text{отб}} = \Delta D_{\text{рег.6.отб}} \times (i_o - i_{\text{рег.6.отб}}^{\text{э}}) \eta_{\text{э}} \times \eta_{\text{м}}, \quad (7)$$

Определим величину удельной выработки электроэнергии на 1 м^3 питательной воды по формуле:

$$v_{\text{тф}}^{\text{увэп}} = \frac{\Sigma N}{G_{\text{исх.в}}}, \text{ кВт} \times \text{ч/м}^3, \quad (8)$$

Результаты расчета энергетической эффективности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета энергетической эффективности ТЭЦ за счет снижения температуры добавочной питательной воды

Расчетные показатели				
$N_{\text{тф}}^{\text{зотб.}}$, кВт	$N_{\text{рег}}^{\text{зотб.}}$, кВт	$v_{\text{тф}}^{\text{увэп}}$, кВт×ч/м ³	$N_{\text{тф}}^{\text{6отб.}}$, кВт	$v_{\text{тф}}^{\text{увэп нов}}$, кВт×ч/м ³
6611,699	478,642	23,634	7513,132	28,642

Экономия условного топлива ΔB , т.у.т. при реализации предложенной нами технологии определяется по разности $\Delta v_{\text{тф}}^{\text{увэп}}$, (кВт×ч/м³) [4]:

$$\Delta B = \Delta v_{\text{тф}}^{\text{увэп}} \times (b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.м}}) \times G_{\text{подп}}^{\text{реж}} \times 10^{-3}, \quad (9)$$

Примем удельный расход условного топлива на теплофикационную выработку электроэнергии $b_{\text{э.т}} = 0,15$ кг/кВт×ч, а на конденсационную $b_{\text{э.к}} = 0,40$ кг/кВт×ч.

Определяем расход исходной воды за период работы турбоустановки в теплофикационном режиме (при времени работы турбины в расчетном режиме в год: $h_{\text{год}} = 8300$ часов)

Однако следует также учесть увеличение расхода топлива на дополнительную выработку пара в котле:

$$B_{\Delta D} = \frac{\Delta D_{6.\text{отб}} \times (i_o - i_{\text{п.в}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \times \eta_{\text{к}}}, \quad (10)$$

где $\eta_{\text{к}}$ – КПД котла, $\eta_{\text{к}} = 0,92$; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания топлива, $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 29300$ кДж/кг; $\Delta D_{6.\text{отб}}$ – увеличение расхода пара условного эквивалентного отбора, $\Delta D_{6.\text{отб}} = 2,501$ кг/с = 9003,6 кг/ч.

В итоге по формуле (1) рассчитываем экономию условного топлива $B_{\text{эк}}$, т/год, при охлаждении добавочной питательной воды и ввода этой воды в поток основного конденсата турбины на ТЭЦ, она составит 1139,5 т/год в расчете на одну турбину Т-100-130.

Экономичность предложенной нами технологии в денежном выражении можно определить как:

$$\Delta \mathcal{E} = B_{\text{эк}} \times \mathcal{C}_{\text{т}} \quad (11)$$

где $\mathcal{C}_{\text{т}}$ – цена условного топлива, $\mathcal{C}_{\text{т}} = 3900$ руб/т.

Результаты расчета энергетической эффективности приведены в таблице 2.

Результаты расчета экономической эффективности ТЭЦ за счет снижения температуры добавочной питательной воды энергетических котлов

Расчетные показатели			
$V_{\Delta D}$, т/год	ΔB , т/год	$V_{\text{эк.}}$, т/год	$\Delta \text{Э}$, млн.руб./год
831,52	1971,021	1139,501	4,444

Заключение

Предложенная технология снижения температуры добавочной питательной воды котлов теплоэнергетической установки позволяет повысить энергетическую эффективность теплофикационных турбоустановок и, как следствие, повысить экономичность работы всей тепловой электрической станции, а именно:

1. При использовании теплообменника охладителя температура добавочной питательной воды снизилась с 60 °С до 56,37 °С, что способствует к снижению температуры основного конденсата турбины после смешения перед регенеративным подогревателем низкого давления.
2. Обеспечивается дополнительная выработка электроэнергии на тепловом потреблении;
3. Экономия условного топлива $V_{\text{эк.}}$, т/год, на ТЭЦ при охлаждении добавочной питательной воды и ввода этой воды в поток основного конденсата турбины Т-100-130, составляет 1139,50 т/год.
4. Экономия денежных средств при включении теплообменника-охладителя в узел деаэрации добавочной питательной воды составляет 4,444 млн. руб. в год.
5. Повышение температуры природного газа после теплообменника-охладителя способствует к улучшению процесса горения подогретого топлива в горелках котлов.

Список литературы

1. Шарапов В. И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС / В.И. Шарапов // Труды Академэнерго. – 2015. – № 2. – С. 27–37.
2. Шарапов В. И. Схемы подогрева добавочной питательной воды на ТЭЦ с большим отпуском технологического пара // Промышленная энергетика. 1988. № 11. С. 35– 37.
3. ГСССД 160-93. Газ природный расчетный. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, коэффициент объемного расширения и показатель адиабаты при температурах 250-450 К и давлениях 0,1-12 МПа: Табл, стандарт, справ, данных/ А. Д. Козлов, В. М. Кузнецов, Ю. В. Мамонов, С. А. Степанов. – М.: Госстандарт России, 1993.
4. Расчёт энергетической эффективности технологий подготовки воды на ТЭЦ: Учебное пособие / Шарапов В. И., Пазушкин П. Б., Цюра Д. В., Макарова Е. В. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. 120 с.

Development of a method for increasing the energy efficiency of CHPPs by reducing the temperature of the additional feed water of power boilers

Abuleev A.D., Lytyakov E.S., Orlov M.E.

UISTU, 432027, Russia, Ulyanovsk, Severniy Venets st., 32

The aim of the study is to increase the energy and economic efficiency of heat-and-power boilers by reducing the temperature of deaerated additional feed water using a gas-water heat exchanger, and

introducing this water into the place of the main turbine condensate path that is optimal from the point of view of economy and energy efficiency. The article proposes a fundamentally new technology for increasing the specific generation of electricity based on thermal consumption, and also calculates the efficiency of the proposed solution. The main distinguishing feature of this solution is the reduction in the temperature of the additional feed water of the boilers of thermal power plants. As a result, a method was developed to increase the specific power generation based on heat consumption by reducing the temperature of the additional feed water of power boilers.

Keywords: heat exchanger cooler, specific output, equivalent fuel, deaerator, condensate, regenerative heater.