

Сравнительный анализ котлов-утилизаторов вертикального и горизонтального типа

Мошкарин А.В., д-р техн. наук, Шельгин Б.Л., канд. техн. наук, Жамлиханов Т.А., асп.

Приведены результаты сравнительного анализа котлов-утилизаторов вертикального и горизонтального типа для различных парогазовых установок. Показана экономическая эффективность применения вертикальной конструкции котла-утилизатора.

Ключевые слова: котел-утилизатор, парогазовая установка, газовая турбина, вертикальная конструкция, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости, программный комплекс, экономический эффект.

Comparative analysis of vertical and horizontal HRSG

Moshkarin A.V., doctor of science, Shelygin B.L., candidate of science, Zhamlihanov T.A., graduate student

Results of comparative analysis of vertical and horizontal HRSG for various CCGT types are presented. Economic efficiency of use of a HRSG with vertical design is shown.

Keywords: the caldrion utilization, vapour gas installation, gas turbine, vertical design, clean discount incom, pay-back period, program software, economic effect.

Одним из ключевых направлений развития отечественной и зарубежной теплоэнергетики является внедрение парогазовых установок [1, 2]. Согласно «Энергетической стратегии России до 2020 г.», предстоит замена старого оборудования ТЭС на новое, более эффективное, на основе ПГУ.

Актуальным является проектирование котлов-утилизаторов (КУ) для вновь вводимых блоков ТЭС.

Существуют котлы-утилизаторы вертикальной и горизонтальной компоновки поверхностей нагрева. Задачами настоящего исследования являлось:

- сравнение технических характеристик котлов-утилизаторов горизонтального и вертикального типа;
- выбор котла-утилизатора с наилучшими экономическими показателями для ПГУ.

Для решения поставленных задач были разработаны модели котлов-утилизаторов вертикального и горизонтального типа (на основе программного комплекса Boiler Designer фирмы Optsim-K [3]) для моноблоков:

- ПГУ-40 с ГТУ SGT-700 фирмы Siemens мощностью 28,33 МВт и КПД по выработке электроэнергии 34,83 %;
- ПГУ-250 с ГТУ V94.2a фирмы Siemens мощностью 190 МВт и КПД по выработке электроэнергии 36,41 %;
- ПГУ-410 с ГТУ M701F4 фирмы Mitsubishi Heavy Industries (MHI) мощностью 303,4 МВт и КПД по выработке электроэнергии 38,2 %.

Основные исходные характеристики спроектированных котлов-утилизаторов следующие:

1. Для ПГУ-410 – трехконтурный КУ с промперегревом номинальной паропроизводительностью 414 т/ч; параметры пара высокого

давления – 12,5 МПа, 568 °С, среднего давления (после промперегрева) – 3,12 МПа, 568 °С, низкого давления – 0,52 МПа, 235,3 °С.

2. Для ПГУ-40 – двухконтурный КУ номинальной паропроизводительностью 45 т/ч; параметры пара высокого давления – 5,5 МПа, 487 °С, низкого давления – 0,62 МПа, 212 °С.

3. Для ПГУ-250 – одноконтурный КУ номинальной паропроизводительностью 250 т/ч; параметры пара высокого давления – 13,5 МПа, 550 °С.

Расчеты выполнялись для условий ISO 2314.

Утилизация части теплоты уходящих газов ГТУ в котлах-утилизаторах связана с повышением сопротивления выходного тракта и ростом давления газов за газовой турбиной (табл. 1), что приводит к снижению электрической мощности автономно работающей ГТУ. Это влияние можно оценить с помощью зависимостей, описанных в [4].

Коэффициент уменьшения электрической мощности рассчитывается как

$$K_N = N_3^2 / N_3^{2,asm} = 1 - 0,55 \delta p_{вых}^{ГТ}, \quad (1)$$

где $N_3^{2,asm}$ – мощность ГТУ при работе в автономном режиме; $\delta p_{вых}^{ГТ} = \Delta p_{вых}^{ГТ} / p_{атм}$ – относительная потеря давления на выходе газов турбины; $\delta p_{вых}^{ГТ}$ – дополнительное аэродинамическое сопротивление на выходе ГТУ (в результате установки КУ).

Коэффициент уменьшения КПД производства электроэнергии равен

$$K_\eta = \eta_3^2 / \eta_3^{2,asm} = 1 - 0,55 \delta p_{вых}^{ГТ}, \quad (2)$$

где $\eta_3^{2,asm}$ – КПД производства электроэнергии ГТУ в автономном режиме.

Таблица 1. Основные технические характеристики котлов-утилизаторов

Наименование величины	ПГУ-40		ПГУ-250		ПГУ-410	
	Тип котла-		Тип котла-утилизатора		Тип котла-утилизатора	
	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный
Средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	42,16	42,6	27,212	27,478	30,6	33,27
Паропроизводительность, т/ч	45,2	45,5	250,4	250,6	413,8	414,26
Суммарная поверхность, м ²	22353	20811	189102	167366	263735	262562
Удельная паропроизводительность, т/(ч·м ²)	0,002022	0,002186	0,001324	0,001497	0,001569	0,001578
Аэродинамическое сопротивление, кПа	2,842	2,675	1,87	1,461	3,56	3,38
КПД, %	85,12	85,4	83,2	83,6	85,2	85,36

Таблица 2. Оценка снижения потерь мощности ГТУ

Тип ГТУ	Наименование величины					
	$N_{Э}^{э.ам}$, МВт	$\eta_{Э}^{э.ам}$, %	ΔK_N	ΔK_{η}	$\Delta N_{Э}^э$, МВт	$\Delta \eta_{Э}^э$, %
SGT-700 Siemens для ПГУ-40	28,33	34,83	0,000906	0,000906	0,025681	0,031573
V94.2a Siemens для ПГУ-250	190	36,41	0,00222	0,00222	0,421816	0,080833
M701F4 MHI для ПГУ-410	303,4	38,2	0,000977	0,000977	0,296438	0,037323

Таблица 3. Данные инвестиционных проектов

Наименование величины	ПГУ-40	ПГУ-250	ПГУ-410
K , млрд руб.	2,812	6,1	10,12
$T_{ж}$, лет	20	20	20
R , %	12	12	12
a , %	5	5	5

Таблица 4. Результаты технико-экономической оценки горизонтальной и вертикальной компоновок котлов-утилизаторов

Наименование величины	ПГУ-40		ПГУ-250		ПГУ-410	
	Тип котла-утилизатора		Тип котла-утилизатора		Тип котла-утилизатора	
	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный
Суммарные годовые затраты, млрд руб/год	1,102	1,102	3,94	3,94	5,52	5,52
\mathcal{E} , млрд руб/год	0,325	0,326	0,686	0,688	1,102	1,103
Π , млрд руб/год	0,4006	0,4014	0,8538	0,8554	1,3876	1,3884
τ_p , лет	7,0194	7,0054	7,1445	7,1311	7,2931	7,2889
$\mathcal{C}ДД$, млрд руб.	0,1802	0,1862	0,2774	0,2893	0,2446	0,2505

Таким образом, с учетом уравнений (1) и (2) можно оценить снижение потерь мощности ГТУ при использовании вертикального котла-утилизатора вместо горизонтального.

Анализ основных характеристик котлов-утилизаторов (табл. 1) показывает, что аэродинамическое сопротивление КУ вертикального типа ниже, чем у КУ горизонтального типа.

Увеличение мощности ГТУ приводит к росту КПД и мощности блока ПГУ в целом (табл. 2).

В связи с этим интерес представляет оценка влияния типа КУ на экономическую эффективность проекта.

Основные технико-экономические показатели проекта определяются сроком окупаемости и чистым дисконтированным доходом [5].

Срок окупаемости рассчитывается по формуле

$$\tau_p = \frac{K}{\Pi} = \frac{K}{\mathcal{E}(1-H) + \frac{a \cdot K}{100}} \quad (3)$$

где K – величина инвестиций; Π – поступления денежных средств в год; \mathcal{E} – экономический эффект; H – ставка налога на прибыль; a – процент амортизации.

Чистый дисконтированный доход определяется как

$$\mathcal{C}ДД = \sum_{t=1}^{T_{ж}} \left(\frac{\Pi_t}{(1+R)^t} \right) - K, \quad (4)$$

где $T_{ж}$ – срок жизни проекта; R – норма дисконта.

С помощью уравнений (3) и (4), а также данных табл. 3 рассчитываются критерии экономической эффективности проектов (табл. 4).

Заключение

Использование вертикальной конструкции котла-утилизатора является более эффективным на основании следующих технико-экономических показателей:

- уменьшаются потери мощности и КПД ГТУ, а следовательно, повышается мощность и КПД всего цикла ПГУ;

- снижается металлоемкость котла вследствие более высоких значений коэффициентов теплопередачи;
- увеличивается доход от реализации проекта при более низком значении срока окупаемости.

Список литературы

1. **Состояние** и перспективы развития энергетики Центра России; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново, 2000.

2. **Анализ** направлений развития отечественной теплоэнергетики; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново, 2002.

3. **Доверман Г.И.** Руководство для пользователей «Справочные материалы по программе BOILER DESIGNER» / OPTSIM-K. – М., 2004.

4. **Газотурбинные** и парогазовые установки тепловых электростанций; Под ред. С.В. Цанева. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.

5. **Битеряков Ю.Ф.** Экономика энергетического предприятия: Учеб. пособие. / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново, 1997.

Мошкарин Андрей Васильевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Шельгин Борис Леонидович,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Жамлиханов Тимур Абдульверович,
Ивановский государственный энергетический университет,
аспирант, ассистент кафедры тепловых электрических станций,
телефоны: (4932) 37-74-60, 8-915-821-56-26.