

А.А. КУДИНОВ
Ю.Э. ДЁМИНА

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТВОДА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЧЕРЕЗ БАШНЮ ГРАДИРНИ

CALCULATION OF THE DRAINAGE SYSTEM OF LEAVING FLUE GASES FROM THE TURBINE THROUGH THE COOLING TOWER

Приводятся результаты исследования системы отвода уходящих газов газотурбинной установки, работающей в парогазовом цикле, в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха. Применение подобной схемы удаления дымовых газов позволяет снизить температуру циркуляционной воды на выходе из градирни, что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки с одновременным снижением капитальных затрат на строительство дымовых труб. В результате применения данной схемы достигается повышение абсолютного электрического коэффициента полезного действия турбин. Изложенная методика расчёта систем удаления уходящих дымовых газов от котла-утилизатора газотурбинной установки с перфорированным кольцевым распределителем позволяет на инженерном уровне определять конструктивные и массо-габаритные параметры данных систем.

Ключевые слова: градирня, дымовые газы, газотурбинная установка, охлаждение, котел-утилизатор

Современные тепловые электрические станции должны отвечать жестким экономическим и экологическим требованиям. Необходимо повышать коэффициент полезного действия (КПД), эффективность работы котельного и вспомогательного оборудования. Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2030 г. в области отечественной энергетики предусматривается строительство и ввод в эксплуатацию на тепловых электрических станциях (ТЭС) парогазовых установок утилизационного типа (ПГУ-У) [1, 2]. Одной из приоритетных задач совершенствования ПГУ-У является повышение абсолютного электрического КПД газовых и паровых турбин. В целях повышения экономичности парогазовых тепловых электрических станций предлагается осуществлять отвод уходящих газов в атмосферу через башню градирни [3, 7].

В статье приводится методика и результаты расчета башенной градирни с естественной вентиляцией воздуха, размещенной на парогазовой установке ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ. Применение отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни с есте-

The article presents result of a research a system of the venting of exhaust gases of the recovery boiler the gas turbine plant through the natural draft cooling tower in the environment. The use of this scheme allows the flue gases to lower the temperature of the circulating water at the outlet of the cooling tower to provide a deeper vacuum in the condenser steam turbine combined cycle power plant with simultaneous reduction of capital to build chimneys. As a result of the application of this scheme, an increase in the absolute electric efficiency of turbines is achieved. As stated in Article method of calculating the removal of exhaust flue gas systems with a perforated distributor ring allows to determine the level of engineering design and volume requirements of these systems.

Key words: cooling tower, exhaust gases, gas-turbine installation, cooling, radiation, waste-heat recovery unit

ственной вентиляцией воздуха позволяет повысить эффективность работы градирни и паротурбинной установки, избежать затрат на строительство и эксплуатацию дымовой трубы. Принципиальная схема системы отвода дымовых газов представлена на рис. 1.

Система удаления дымовых газов может иметь различное конструктивное исполнение. Предлагаются следующие варианты решения:

- дымовая труба, установленная внутри башни градирни [4];
- трубчатый газораспределитель с выходом через щелевое отверстие;
- трубчатый газораспределитель с выходными соплами;
- трубчатый газораспределитель с выходом из боковой грани;
- система с кольцевым распределителем.

Проведенные исследования показали, что наиболее оптимальной из представленных вариантов является система дымоудаления с кольцевым распределителем [5].

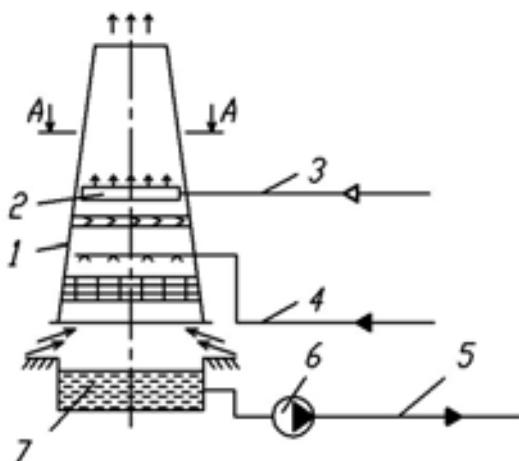


Рис. 1. Принципиальная схема

отвода дымовых газов через башню градирни:

- 1 – вытяжная башня градирни; 2 – коллектор системы отвода дымовых газов; 3 – уходящие газы от котла-утилизатора; 4 – сливной напорный трубопровод циркуляционной воды от конденсатора; 5 – напорный трубопровод охлажденной циркуляционной воды; 6 – циркуляционный насос; 7 – водосборный бассейн градирни

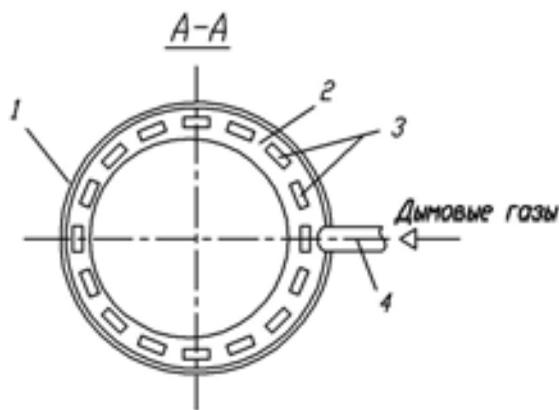


Рис. 2. Конструктивное решение системы удаления дымовых газов:

- 1 – корпус башни градирни; 2 – кольцевой газораспределитель; 3 – отверстия для выхода дымовых газов; 4 – коллектор уходящих дымовых газов

В данной работе предлагается методика расчета подобной системы, конструктивное решение которой показано на рис. 2.

Далее представлена методика и дан пример расчета системы удаления дымовых газов для башенной градирни, установленной на Сызранской

ТЭЦ. Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Результаты проведенного расчета эффективности охлаждения оборотной воды при удалении дымовых газов через башню градирни [3] представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчетов показал, что при отводе уходящих газов самотяга возрастает на 32 %, при этом температура циркуляционной воды на выходе из градирни снижается на 6,9 % – с 29 до 27, что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки.

Следующим этапом работы является разработка инженерной методики для расчета конструктивных параметров системы распределения дымовых газов внутри градирни, которая базируется на принципах расчета воздухопроводов равномерной раздачи, применяемых при проектировании систем вентиляции [6]. Так как рациональной оказалась система с кольцевым распределителем, в данной работе в качестве примера представлен расчет такой конструкции с кольцевым распределителем для башенной градирни с естественной вентиляцией воздуха, установленной на ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ.

Пример расчета

1. Площадь поперечного сечения газораспределителя:

$$F = \frac{L_r}{3600v_n 2} = \frac{498740}{3600 \cdot 20 \cdot 2} = 3,46 \text{ м}^2. \quad (1)$$

2. Диаметр газораспределителя:

$$d = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,46 \cdot 4}{3,14}} = 1,86 \text{ м}. \quad (2)$$

3. Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_n d}{v_{кин}} = \frac{20 \cdot 1,86}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 24,8 \cdot 10^5. \quad (3)$$

4. Коэффициент сопротивления трения:

$$\lambda = 0,114 \sqrt{\frac{K_s}{d} + \frac{68}{Re}} = 0,114 \sqrt{\frac{0,0004}{1,86} + \frac{68}{24,8 \cdot 10^5}} = 0,01044, \quad (4)$$

для листовой стали $K_s = 0,1 \text{ мм} = 0,0001 \text{ м}$.

5. Безразмерный параметр воздуховода:

$$\lambda \bar{l} = \frac{\lambda l}{2d} = \frac{0,01044 \cdot 144}{2 \cdot 1,86} = 0,40413. \quad (5)$$

6. Значение комплекса величин:

$$\frac{2d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1,86}{0,01044} = 356 \text{ м}.$$

Полученное значение больше $l/2 = 72 \text{ м}$, поэтому параметр отверстия определяется по следующим зависимостям:

Таблица 1

Исходные данные для расчета системы удаления дымовых газов

Исходные данные	Обозначение	Единица измерения	Значение
Площадь оросителя	F_{op}	м ²	2350
Высота оросителя	H_{op}	м	1
Высота градирни	$H_{гр}$	м	74,4
Диаметр основания башни	$D_{осн}$	м	60,4
Диаметр устья	$D_{уст}$	м	35,85
Высота воздухоходных окон	$H_{ок}$	м	6,5
Площадь воздухоходных окон	$F_{ок}$	м ²	1029,28
Температура воздуха	ϑ_1	°С	21
Относительная влажность воздуха	φ_1	%	54
Барометрическое давление	p_b	мм рт. ст.	745
Температура охлаждаемой воды	t_1	°С	38
Расход воды	$G_ж$	м ³ /ч	14000
Расход уходящих газов	$L_г$	м ³ /ч	498740
Длина перфорированного кольцевого коллектора	l	м	144
Количество отверстий	n	шт.	7
Скорость газов в кольцевом коллекторе	v_H	м/с	20

Таблица 2

Результаты расчета системы удаления дымовых газов

Расчетные данные	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя при удалении уходящих газов	
			через дымовую трубу	через градирню
Гидравлическая нагрузка	$q_ж$	м ³ /(м ² ·ч)	5,96	5,96
Самотяга градирни	Δp	Па	24,8	32,8
Расход воздуха	$G_в$	кг/с	1943	2227
Удельный расход воздуха	λ	-	0,50	0,61
Принятая температура воды на выходе из градирни	t_2	°С	29	27
Средняя температура воды в градирне	t_{cp}	°С	33,5	32,5
Разность температур воды в градирне	Δt	°С	9	11
Температура охлажденной воды	t'_2	°С	29,3	27,3

$$\mu\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2 \cdot r_{\max}}{0,25\lambda\bar{l}(n-1)^2 + \frac{0,4(n-1)}{n} - 0,167(4n+1)(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{0,25 \cdot 0,40413(7-1)^2 + \frac{0,4(7-1)}{7} - 0,167(4 \cdot 7 + 1)(7-1)}} = 0,068. \quad (6)$$

$$\mu\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2 \cdot r_{\max}}{0,167(2n+1)(n+1) - 1 - 0,083\lambda\bar{l}(n^2-1) - 0,2(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{0,167(2 \cdot 7 + 1)(7+1) - 1 - 0,083 \cdot 0,40413(7^2-1) - 0,2(7-1)}} = 0,0989. \quad (7)$$

Из двух полученных значений принимается меньшее

$$\mu\bar{\sigma} = 0,068.$$

7. Проверка выполнения условия:

$$n\mu\bar{\sigma} = 7 \cdot 0,068 = 0,476 < 1. \quad (8)$$

Условие применения зависимостей выполнено.

8. Площадь единичного отверстия:

$$\sigma = \frac{\mu\bar{\sigma}F}{\mu} = \frac{0,068 \cdot 3,46}{0,6} = 0,39 \text{ м}^2, \quad (9)$$

где коэффициент расхода $\mu = 0,6$ – при острых краях выходного отверстия.

Выводы. Результаты расчета показали возможность применения системы отвода уходящих газов в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха. Это позволяет повысить эффективность работы градирни и паротурбинной установки ПГУ, а также избежать затрат на строительство и эксплуатацию дымовой трубы. Предложена методика расчета кольцевого перфорированного распределителя, что позволяет определять конструктивные характеристики данной инженерной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р.

2. *Novopashina N., Puring S.* The use of energy saving technology as the basis for the state program implementation // MATEC Web of Conferences Editor V. Murgul. 2017. С. 06023.

Об авторах:

КУДИНОВ Анатолий Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций, зав. кафедрой тепловых электрических станций
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел. (846) 332-42-31

ДЁМИНА Юлия Эрнестовна

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846) 337-81-03

3. *Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П.* Повышение эффективности парогазовой ТЭС путем отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха // Промышленная энергетика. 2017. № 3. С. 33-38.

4. Патент 1813869 А1 СССР, Е 04 Н 12/28, 5/12. Дымовая труба – градирня / Демидов В.М., Куликов В.Д., Лаушин Н.Г.; заявл. 10.02.88; опубл. 07.05.93, Бюл. № 17. 3 с.

5. *Линник А.В., Случанинов Н.Н.* Исследование влияния системы совмещенного паро-газоудаления на работу градирни ТЭЦ // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 128-129.

6. *Гримитлин М.И.* Распределение воздуха в помещениях. СПб.: Авок Северо-Запад, 2004. 319 с.

7. Пат. 2453712 РФ, МПК7 F01K23/10. Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П.; заявл. 20.08.10; опубл. 20.06.12, Бюл. № 17. 3 с.

KUDINOV Anatoly A.

Doctor of Engineering Science, Professor Head of the Thermal Power Stations Chair
Samara State Technical University
443001, Russia, Samara, Pervomayskaya str., 18,
tel. (846) 332-42-31

DEMINA Yulia E.

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 337-81-03

Для цитирования: *Кудинов А.А., Дёмина Ю.Э.* Расчет системы отвода уходящих дымовых газов газотурбинной установки через башню градирни // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.135-138. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.23.

For citation: *Kudinov A.A., Demina Yu.E.* Calculation of the drainage system of leaving flue gases from the turbine through the cooling tower // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 135-138. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.23.