

Реконструкция газоотводящего тракта Ивановской ТЭЦ-1 в условиях работы ПГУ

Салов Ю.В., акад. АПЭ, Варнашов В.В., канд. техн. наук, Горшенин С.Д., Оверченко И.В., аспиранты

Анализируется состояние газоотводящего тракта ИвТЭЦ-1 в условиях работы ПГУ. Рассматриваются варианты возможной его реконструкции.

Ключевые слова: дымовая труба, газоходы, ПГУ, футеровка, нестационарный режим, реконструкция.

Reconstruction of external breechings and smokestack of Ivanovo cogeneration plant №1 in condition of work combined-cycle unit

Salov U.V., Varnashov V.V., Gorshenin S.D., Overchenko I.V.

Analyzed condition of external breechings and smokestack of Ivanovo Cogeneration plant №1 in condition of the work combined-cycle unit. Considered variants to possible its reconstructions

Keywords: smokestack, external breechings, combined-cycle unit, fettling, nonsteady state, reconstruction.

В настоящее время приоритетным направлением в энергетике по перевооружению и вводу новых мощностей для ТЭС, работающих на газе, является использование парогазового цикла. В ряде случаев подключение блоков ПГУ осуществляется к существующим газоотводящим трактам. Это приводит к быстрому разрушению газоходов и дымовых труб в результате несоответствия их строительных материалов режимам работы ПГУ.

В 2004 г. была проведена реконструкция Ивановской ТЭЦ-1 с установкой двух газовых турбин «Урал-6000» единичной мощностью 6 МВт и двух паровых котлов Е-50-0,7-250 ст. № 11 и 12 для обеспечения паром промышленных потребителей [1]. Схема ПГУ показана на рис. 1.

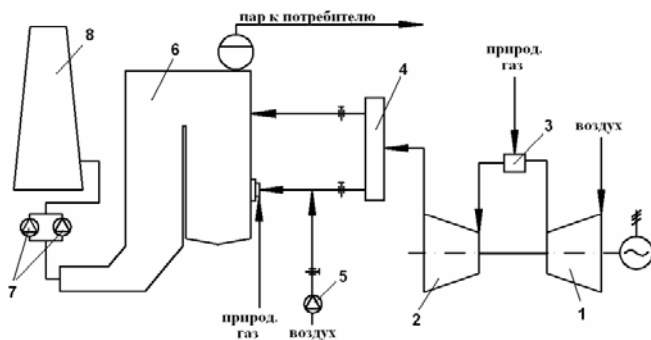


Рис. 1. Схема ПГУ 6 МВт: 1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4 – газораспределительный короб; 5 – дутьевой вентилятор; 6 – котел Е-50-0,7-250; 7 – дымосос; 8 – дымовая труба

Удаление уходящих газов от ПГУ осуществляется через существующие сборный газоход (рис. 2) и дымовую трубу высотой $H = 120$ м, $D_0 = 4,3$ м.

Котлы с ГТУ работают в следующих режимах:

1. *Совместный режим.* Отработавшие в ГТУ газы поступают в котел через газовые горелки (примерно 40 % от общего расхода), а остальная их часть (60 %) через сбросные сопла в верхнюю часть топки. На горелки подается природный газ, для сжигания которого ис-

пользуется имеющийся в выхлопных газах ГТУ кислород. За счет утилизации теплоты дымовых газов ГТУ расход топлива снижается на 30 % по сравнению с автономным режимом (без ГТУ). Диапазон паровых нагрузок составляет 15–50 т/ч.

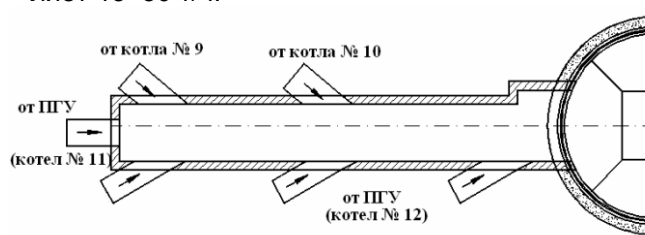


Рис. 2. Существующая аэродинамическая схема внешних газоходов

2. *Утилизационный режим.* В котле используется только тепло уходящих газов от ГТУ, сброс которых осуществляется так же, как и в совместном режиме. Диапазон паровых нагрузок составляет 15–17 т/ч.

3. *Автономный режим без ГТУ.* Используется только теплота сгорания природного газа. Диапазон паровых нагрузок 15–50 т/ч.

Котлы Е-50-0,7-250 ст. № 9 и 10 работают только в автономном режиме.

Параметры уходящих газов представлены в таблице. Их анализ показывает, что при работе котлов в совместном с ГТУ режиме температура и расход уходящих газов значительно возрастают.

Параметры уходящих газов от котлов ст. № 9-12 при номинальной паропроизводительности

Ст. № котла		9	10	11	12
Совместный режим с ГТУ	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	-	-	183	163
	$V_{yx}, \text{м}^3/\text{с}$	-	-	63	71
Автономный режим	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	193	198	145	121
	$V_{yx}, \text{м}^3/\text{с}$	23,8	23,7	20,2	15,1

Железобетонная оболочка дымовой трубы запроектирована конической формы. Для защиты ствола от агрессивных газов предусмотрены футеровка из кислотоупорного кирпича, невентилируемый воздушный зазор и теплоизоляция из диа-

томового кирпича, выполненные ярусами с опиранием на консоли. Для защиты оголовка трубы от воздействия агрессивных газов и атмосферных осадков запроектирован чугунный колпак.

В стволе трубы на отметке +5,000 м предусмотрены два диаметрально противоположных проема размером 3,80×7,45 м для подводящих газоходов.

После нескольких лет эксплуатации ПГУ при обследовании дымовой трубы и внешних газоходов в футеровке выявлены множественные вертикальные трещины шириной раскрытия до 80 мм. В швах бетонирования несущего ствола происходит отслоение защитного слоя бетона. Некоторые звенья чугунного колпака из-за роста футеровки смещаются наружу. В отдельных случаях происходит полное их коррозионное разрушение.

Существующая схема газоходов с аэродинамической точки зрения выполнена нерационально. Это способствует образованию застойных зон, пульсациям потоков, вихреобразованиям и увеличению сопротивления всего газоотводящего тракта.

В узлах сопряжения металлических участков газоходов с кирпичной кладкой сборного газохода образовались щели, через которые происходит подсос наружного воздуха. Это способствует снижению температуры уходящих газов, увеличению их объема, а также местному переохлаждению стенок газоходов, что вызывает их деформацию.

Для выявления причин повреждения футеровки и несущего железобетонного ствола были проведены теплоаэродинамический, тепло-влажностный и прочностной расчеты дымовой

трубы при работе котлов № 9, 10 и ПГУ (совместный режим) на номинальную их нагрузку.

Параметры уходящих газов на входе в дымовую трубу были определены в ходе теплоаэродинамического расчета внешних газоходов [2]. Температура наружного воздуха была принята $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчет показал, что охлаждение газов по длине газохода составляет $5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, в основном за счет присосов холодного воздуха. Параметры дымовых газов на входе в трубу составили:

- объем газов $186,2\text{ м}^3/\text{с}$;
- температура $173,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты расчета дымовой трубы при установленном ее тепловом состоянии представлены на рис. 3.

Расчет показал, что по всей высоте дымовой трубы в газоотводящем стволе имеет место разрежение.

В толще железобетонного ствола трубы происходит конденсация водяных паров (рис. 3,а, кривая 1), диффундирующих через футеровку к несущему стволу за счет разности их парциальных давлений на внутренней и наружной поверхности трубы. Накопление влаги опасно тем, что в зимний период эксплуатации она замерзает и, расширяясь, приводит к дополнительным разрушениям.

Суммарные напряжения в несущем стволу, полученные в результате расчета дымовой трубы на ветровую нагрузку, оказались ниже предельного допустимого их значения $[R] = 102\text{ кгс}/\text{см}^2$ (рис. 3,г, кривая 1). Расчет проводился в соответствии с [3, 4].

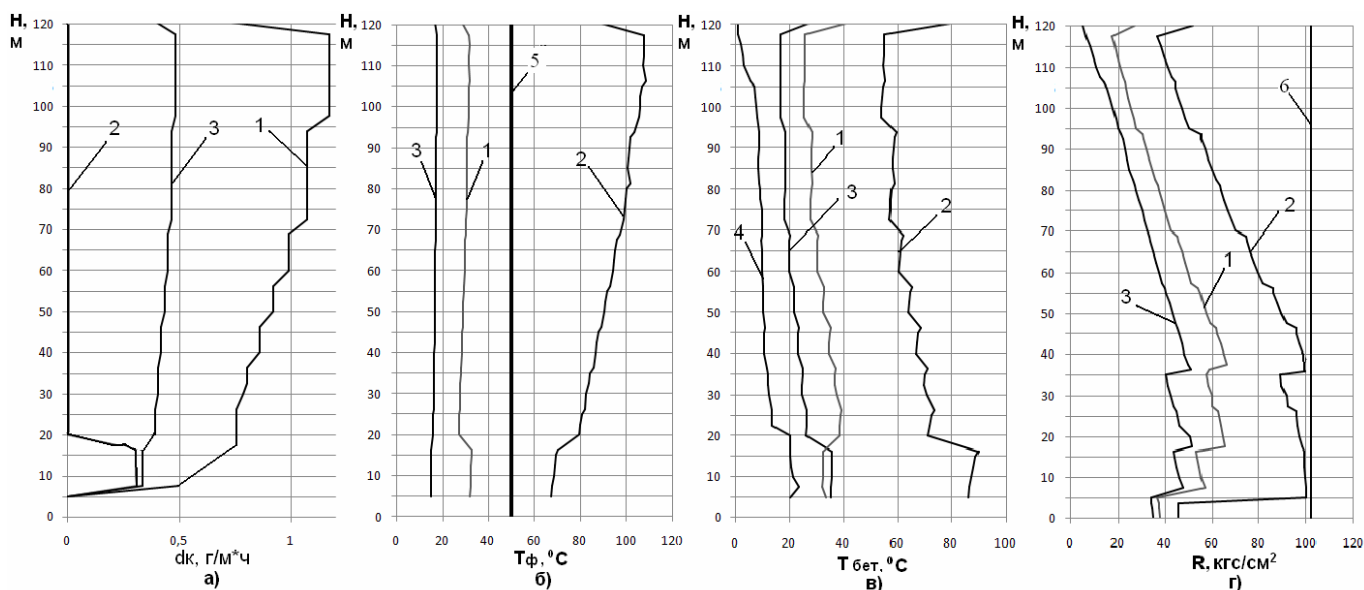


Рис. 3. Результаты расчета дымовой трубы Н=120 м ИвТЭЦ-1: а – количество конденсирующейся влаги в железобетонной оболочке дымовой трубы; б – температурные перепады на футеровку дымовой трубы; в – температурные перепады на железобетонную оболочку; г – суммарные напряжения в железобетонной оболочке; 1 – существующая конструкция; 2 – вариант с монолитной футеровкой; 3 – вариант с монолитной футеровкой и теплоизоляцией; 4 – вариант с ВМС; 5 – предельно допустимый температурный перепад на кирпичную футеровку; 6 – допустимые напряжения в железобетонной оболочке

Теплоаэродинамический расчет [5] показал, что температурные перепады в футеровке (рис. 3,б, кривая 1) по высоте дымовой трубы находятся в пределах 29,6–32,3 °С, что не превышает предельно допустимое значение 50 °С. Это говорит о том, что в установившемся тепловом состоянии дымовой трубы условия образования вертикальных трещин отсутствуют.

Для выявления причин разрушения футеровки были проведены расчеты нестационарного ее прогрева при различных режимах работы ТЭЦ в соответствии с методикой, изложенной в [6].

Режим работы станции полностью зависит от режима работы двух текстильных предприятий ОАО «БИМ» и ОАО «НИМ». С мая по октябрь еженедельно в понедельник (вторник) производится пуск оборудования, а в субботу (пятницу) – останов.

Расчеты показали, что прогрев футеровки до установившегося теплового состояния занимает около суток (рис. 4). При пусках ПГУ рост параметров уходящих газов происходит достаточно быстро (20 мин). За это время футеровка не успевает прогреться и в ней возникают температурные перепады, превышающие предельно допустимые, что и явилось причиной образования трещин.

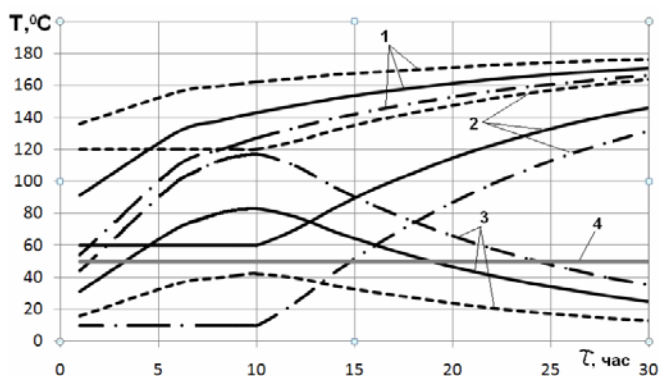


Рис. 4. Изменение температурных перепадов на футеровку дымовой трубы в зависимости от режимов работы ТЭЦ: 1 – температура внутренней стенки футеровки; 2 – температура внешней стенки футеровки; 3 – температурный перепад на футеровку; 4 – предельно допустимый перепад температур на футеровку; — — — — пуск ПГУ в летнее время при отключенных котлах № 9, 10; — · — · — пуск ПГУ в зимнее время при отключенных котлах № 9, 10; - - - - - пуск ПГУ в зимнее время при работе котлов № 9, 10

Для предотвращения этого явления необходимо чтобы пуск ПГУ осуществлялся, когда футеровка находится уже в прогретом состоянии, т.е. при работе котлов № 9 и 10. В этом случае температурные перепады не превышают предельно-допустимого значения.

В целях повышения надежности и экономичности работы газоотводящего тракта в НУЦ ТЭБЭ ИГЭУ разработаны варианты реконструкции кирпичных газоходов и газоотводящего ствола дымовой трубы.

Реконструкция внешних газоходов по улучшенной аэродинамической схеме (рис. 5) с

заменой их на металлические позволит предотвратить образование «мертвых» зон, ликвидировать присосы наружного воздуха в газоотводящий тракт и повысить экономичность работы дымососов за счет снижения его сопротивления.

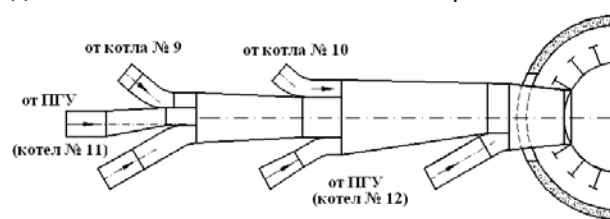


Рис. 5. Предлагаемая аэродинамическая схема внешних газоходов

Для продления срока службы дымовой трубы были рассмотрены следующие варианты возможной реконструкции ее газоотводящего ствола:

- 1) выполнение монолитной футеровки (рис. 6,б);
- 2) выполнение монолитной футеровки с прижимной к несущему стволу теплоизоляцией (рис. 6,в);
- 3) установка металлического самонесущего ствола (рис. 7).

Расчеты дымовой трубы при этом проводились с учетом новой схемы внешних газоходов.

Расчетный анализ показал, что первый вариант реконструкции имеет ряд недостатков:

- температурные перепады в футеровке и несущем стволе возросли с 23–35 до 55–108 °С и с 21–39 °С до 53–89 °С соответственно (рис. 3,б и 3,в, кривая 2). В таких условиях не гарантируется надежность работы дымовой трубы;

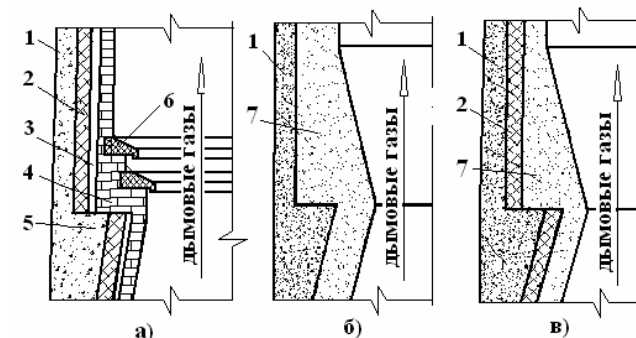


Рис. 6. Схема вертикального сечения дымовой трубы ИвТЭЦ-1: а – существующая конструкция; б – с прижимной монолитной футеровкой; в – с монолитной футеровкой и теплоизоляцией; 1 – несущая железобетонная оболочка; 2 – теплоизоляция; 3 – воздушный зазор; 4 – кирпичная футеровка; 5 – консоль; 6 – слезниковый кирпич; 7 – монолитная футеровка

- в нижней части дымовой трубы (до отметки 60 м) суммарные напряжения возросли и стали близки к предельно допустимому их значению (рис. 3,г, кривая 2).

- в толще железобетонной оболочки происходит конденсация водяных паров.

Для уменьшения температурных напряжений был предложен вариант реконструкции с теплоизоляционной монолитной футеровкой (рис. 3,б).

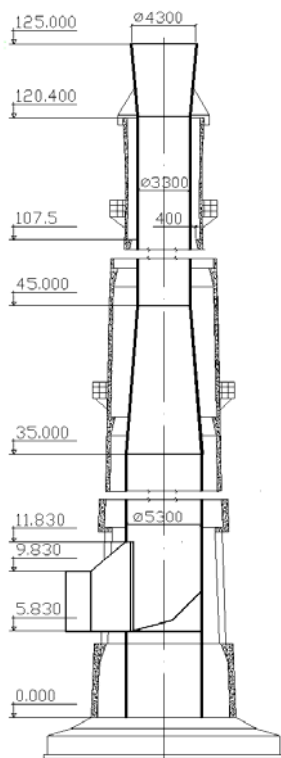


Рис. 7. Вариант реконструкции с ВМС

Расчеты по второму варианту показали, что температурные перепады на несущем железобетонном стволе уменьшаются до 16–48 °С (рис. 3, в, кривая 3). Но, как и в предыдущем случае, не исключается конденсация водяных паров в толще железобетонной оболочки. Это связано с тем, что материалы, примененные для ограждающих конструкций дымовой трубы, имеют паропроницаемую структуру.

Кардинальным решением продления срока службы дымовой трубы в условиях сжигания природного газа является установка внутреннего металлического газоотводящего ствола (ВМС). Это позволит ликвидировать проникновение агрессивных газов к несущей оболочке.

Надежность конструкций железобетонных дымовых труб с внутренними металлическими стволами подтверждена 40 летней практикой их эксплуатации (Костромская ГРЭС, дымовая труба №2 с четырьмя ВМС Н = 255 м). Наиболее приемлемым решением является установка самонесущего газоотводящего ствола. Установка подвешенного ВМС не является целесообразной, поскольку приведет к уменьшению его внутреннего диаметра за счет установки площадок и конструкций подвесок, что скажется на увеличении сопротивления газоотводящего тракта.

Существующую футеровку и теплоизоляцию необходимо демонтировать. Это позволит увеличить проходное сечение между несущей оболочкой и ВМС для удобства монтажа и ремонта.

В ходе вариантных расчетов, исходя из геометрических размеров существующей железобетонной оболочки, ее крена, располагаемого

напора дымососов и экологических показателей работы ИВТЭЦ-1, был найден оптимальный профиль ВМС.

Нижняя его часть (отметки 0–35 м) выполняется диаметром 5,3 м, верхняя часть (отметки 45–120 м) – диаметром 3,3 м. Соединение нижней и верхней секции ствола (отметки 35–45 м) выполняется в виде конфузорного перехода.

При таких габаритах скорости газов в верхней и нижней части газоотводящего ствола при работе всех котлов и ГТУ будет составлять 22 и 9 м/с соответственно.

В целях снижения аэродинамического сопротивления всего газоотводящего тракта в устье газоотводящего ствола с отметки 120 м устанавливается диффузор с выходным диаметром 4,3 м высотой 5 м (отметки 120–125 м).

Газоотводящий ствол выполняется из отдельных царг. Для снижения тепловых потерь и предотвращения переохлаждения стенок они теплоизолируются.

Результаты теплоаэродинамического расчета [7] показали, что в газоотводящем стволе и межтрубном пространстве по всей высоте имеет место разрежение. Температура уходящих газов по высоте дымовой трубы снижается всего на 1 °С. Напряжения в железобетонной оболочке не превышают 52 кгс/см². Запас по несущей способности при этом составит 51 %, а нагрузки на фундамент снизятся примерно на 40 %.

Расчеты рассеивания вредных выбросов, выполненные согласно [8], показали, что максимальные приземные концентрации вредных выбросов (NOx) снижаются на 1 %.

Заключение

Обследование газоотводящего тракта ИВТЭЦ-1 выявило, что в футеровке дымовой трубы имеются вертикальные трещины.

Расчетный анализ показал, что причиной их появления являются нестационарные тепловые процессы в условиях переменных режимов работы ПГУ.

В целях повышения надежности и экономичности работы газоотводящего тракта предлагается провести реконструкцию кирпичных газоходов и газоотводящего ствола дымовой трубы с заменой их на металлические. Это позволит:

- обеспечить газоплотность газоотводящего тракта;
- сократить затраты электроэнергии на собственные нужды;
- сократить затраты на текущие и капитальные ремонты газоходов и дымовой трубы;
- продлить ресурс дымовой трубы и внешних газоходов;
- сократить выброс вредных веществ в атмосферу за счет снижения расхода сжигаемого топлива.

Список литературы

1. **Кромов С.А.** Опыт реконструкции и эксплуатации Ивановской ТЭЦ-1// Тепловые электрические станции. – 2007. – № 9.

2. **Салов Ю.В., Семашко В.А., Варнашов В.В.** Программа для ЭВМ «Теплоаэродинамический расчет внешних газоходов ТЭС». Свидетельство № 2002610803. – М.: Роспатент, 2002.

3. **ВСН 286-72.** Указания по расчету железобетонных дымовых труб.

4. **СНИП 2.01.07.85.** Нагрузки и воздействия/ЦИТП Госстроя СССР. – М., 1986.

5. **Салов Ю.В., Семашко В.А., Варнашов В.В.** Программа для ЭВМ «Теплоаэродинамический расчет дымовых труб с прижимной футеровкой». Свидетельство № 2004611807. – М.: Роспатент, 2002.

6. **Кутателадзе С.С.** Основы теории теплообмена. – М.-Л., 1962.

7. **Салов Ю.В., Семашко В.А., Варнашов В.В.** Программа для ЭВМ «Теплоаэродинамический расчет дымовых труб с проходным вентилируемым каналом». Свидетельство № 2002610805. – М.: Роспатент, 2002.

8. **ОНД-86.** Методика расчета рассеивания вредных выбросов в атмосфере.

Салов Юрий Васильевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, профессор кафедры ТЭС, академик АПЭ,
телефон (4932) 38-73-34.

Варнашов Виктор Васильевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭС,
телефон (4932) 38-73-34.

Горшенин Сергей Дмитриевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
аспирант кафедры ТЭС,
телефон (4932) 38-73-34.

Оверченко Игорь Валентинович,
ОГК-5 (г. Москва),
директор департамента стратегии и бизнеса ОГК-5, аспирант кафедры ТЭС ИГЭУ,
телефон: (495) 380-02-30 (доб. 53-11).