



УДК 69.027.1

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАЗРУШЕНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ И ЭКОЛОГИЯ

Володин Юрий Гурьянович, к.т.н., доцент

ИМРФ им. Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал ФГБОУ ВО
«Волжский государственный университет водного транспорта»
420108, г. Казань, ул. Портовая 19

Салахов Ильяс Рахимзянович, директор Казанского филиала, академик международной
академии наук, к.п.н., доцент, заслуженный учитель РТ

ИМРФ им. Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал ФГБОУ ВО
«Волжский государственный университет водного транспорта»
420108, г. Казань, ул. Портовая 19

Марфина Ольга Павловна, ктн, преподаватель

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1

Каюмова Гузель Газинуровна, к.б.н., научный сотрудник

ИМРФ им. Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал ФГБОУ ВО
«Волжский государственный университет водного транспорта»
420108, г. Казань, ул. Портовая 19

Цветкович Михаил Стоядинович, соискатель

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1

Аннотация. Выполнено математическое моделирование течения дымовых газов в промышленной дымовой трубе с использованием одномерной и трёхмерной моделей. Расчеты, выполненные по трёхмерной модели, показали наличие в корневой части закрученных потоков дымовых газов относительно оси трубы. Центробежные составляющие этих потоков формируют дополнительную динамическую составляющую давления дымовых газов на стены трубы и стимулируют разрушающие воздействия серной коррозии. Показано, что присутствие избыточного давления относительно атмосферного внутри дымовой трубы приводит к разрушениям стен трубы. Ослабить закрутку потока и снизить величину динамической составляющей позволяет перегородка, установленная на входе в трубу.

Ключевые слова: дымовая труба, дымовые газы, серная коррозия, разрушение дымовых труб.

Современная дымовая труба это сложное высотное инженерно технологическое сооружение, являющееся завершающим элементом в технологической цепочке цехов или предприятий. Изначально дымовые трубы предназначались для организации тяги при выборе режима горения.

Развитие, в первую очередь, различных отраслей промышленности послужило источником для разработки большого многообразия конструкций дымовых труб, предназначенных для выброса, чаще всего, продуктов сгорания или вредных веществ в высокие слои атмосферы и последующего рассеяния их. Всё множество дымовых труб, не зависимо от конструкции, разделяют на большие, средние и малые. Изготавливаются дымовые трубы железобетонными, металлическими или кирпичными. Плановые сроки их эксплуатации немного разнятся – металлические 25 лет, а железобетонные и кирпичные 50 лет.

В начале текущего столетия специалисты в энергетической отрасли обеспокоились тем, что плановый ресурс железобетонных труб с момента их постройки истекает (или истек). Наверняка такая же ситуация сложилась и в других отраслях промышленности. Снижение срока службы дымовых труб, произошедшее по разным причинам, приводит к снижению энергоэффективности (например, теплогенерирующего оборудования) и энерго и ресурсосбережения. Независимо от размеров и материала, из которого выполнены дымовые трубы, в них протекают одинаковые рабочие процессы. Если обратимся к процессу сжигания органического топлива – газ, мазут, каменный уголь и др., то заметим, что в каждом из них присутствуют различные примеси, которые в результате сгорания, образуют вредные продукты. К ним относятся окислы серы, азота, углерода, пыль и многие другие неорганические и органические соединения. Одним из наиболее вредных продуктов являются окислы серы [1-4].



Рис. 1. Сквозные отверстия в стене дымовой трубы

Другим нехорошим и нежелательным процессом является «потение» дымовой трубы, т.е. конденсатообразование на внутренней поверхности трубы. Конденсат образуется в тех случаях, когда температура стен дымовой трубы сравняется по величине (и превысит) с кислотной точкой росы, например, при смене нагрузок на котлоагрегаты. В этом случае необходимо не допускать превышения температурой стен величины температуры кислотной точкой росы.

Наличие окислов в потоке дымовых газов и воды на внутренней поверхности трубы приводит к образованию кислот (серной, азотной и др.). Здесь большие неприятности образуются от присутствия серной кислоты, которая воздействуя на стены дымовых труб приводит к их коррозии и разрушению (рис. 1). Негативным является также воздействие серной кислоты на окружающую среду.

Борьбу с серной коррозией начали в прошлом веке. Большой вклад внес профессор Л.А. Рихтер. Он разработал методику [5] расчета газодинамических характеристик

потоков дымовых газов, которой до сих пор пользуются некоторые специалисты, проводящие обследования дымовых труб. В эту методику расчета внесено много допущений и упрощений таких, как:

- поток дымовых газов, движущийся в стволе дымовой трубы не изменяет своей температура, т.е. течение изотермическое;
- поток дымовых газов не сжимаем, т.е. $\rho = const$;
- дымовая труба имеет изолированную (адиабатическую) от внешней среды и непроницаемую стенку;
- по высоте ствола дымовой трубы дымовые газы не меняют свою температуру;
- характеристики потока дымовых газов по высоте ствола дымовой трубы не изменяются, т.е. течение газового потока в стволе дымовой трубы является сформированным и стабилизированным. Несмотря на столь существенные допущения эта методика расчета была весьма востребована. Расчеты, выполненные по этой методике позволили получить следующие результаты (рис. 2).

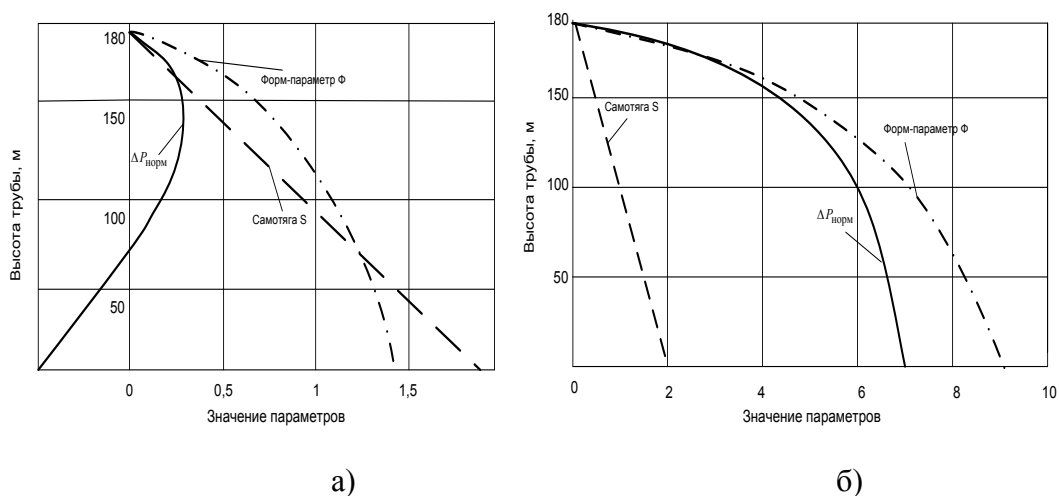


Рис. 2. Эпюры распределения параметров $\Delta\bar{p}$, S , Φ для дымовой трубы высотой 180 метров рассчитанных: а) по одномерной модели течения и б) по трехмерной модели течения.

$\Delta\bar{p} = \frac{\Delta p \cdot 2}{\rho_0 w_0^2}$ – перепад давления на стенку ствола со стороны дымовых газов и барометрическим

давлением в соответствующем поперечном его сечении;

$$S = \frac{2g\Delta\rho h}{\rho_0 w_0^2}, \text{ – относительная самотяга;}$$

$\Phi = \Delta\bar{p} + S$ – форм-параметр газоотводящего канала дымовой трубы

Дымовые трубы строят цилиндрическими или чаще коническими, иногда это набор конфузоров с разными углами сужения, водруженных друг на друга. Конструктивные особенности их формируются многими факторами, среди которых важное место занимают содержание агрессивных компонентов и влаги, а также разность температур между точкой росы и температурой стенки трубы. Коррозия и разрушения дымовых труб возникают за счет проникновения агрессивных дымовых газов в тело их стен. К причинам такого явления относятся не только диффузия газов за счет разности концентраций агрессивных компонентов внутри трубы и снаружи, но и, как показали исследования ряда авторов [5-6], газодинамические факторы. К их числу относятся неизотермичность потока, вызванная переменностью температур потока и стен трубы, отрицательный продольный градиент, сформированный геометрией канала, нестационарность, определяемая переменностью во времени полей скоростей, температур и другие. В этой связи профессор Л.А. Рихтер с

целью определения избыточного статического давления внутри дымовой трубы сформировал критерий

$$R = \frac{(\lambda + 8i)p_{до}}{g\Delta\rho D_0}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления ствола (для труб с кирпичной футеровкой λ обычно принимается равным 0,05);

i – уклон образующей стенки ствола трубы;

$p_{до}$ – динамический напор в устье ствола, Па;

D_0 – диаметр устья, м;

$\Delta\rho$ – разница плотностей воздуха и дымовых газов, кг/м^3 (плотность газов принимается неизменной по высоте трубы);

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Рихтер установил, если R меньше или равен 1, то вся труба находится под разрежением и проникновение агрессивных газов в стены трубы невозможно. Если R больше 1, то на некоторых участках трубы возникает избыточное статическое давление на стенку, которое стимулирует фильтрацию в неё агрессивных газов. Следовательно, для увеличения рабочего срока трубы необходимо воспрепятствовать такому явлению.

К сожалению на сегодняшний день нет натуральных экспериментов в дымовых трубах, которые могли бы объективно показать всю сложность происходящих в них газодинамических и тепломассообменных процессов. Поэтому применение современных методов вычислительной газодинамики позволяет выполнить расчеты в трехмерном формате и спрогнозировать развивающуюся в конкретной дымовой трубе ситуацию авторов [2, 3, 7]. Сравнение результатов расчёта по одномерной и трёхмерной моделям показало их существенное различие (рис. 2), вызванное принятыми упрощениями в одномерной модели. Трёхмерная модель построена на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Фавру и замкнутых k - ϵ – моделью турбулентности. В результате получена детальная физическая картина, показавшая трёхмерный характер течения. Удалось установить, что начиная с корневой части дымовой трубы формируются вихревые закрученные потоки (рис. 3), центробежные силы которых оказывают дополнительное к статическому динамическое давление на стены трубы.

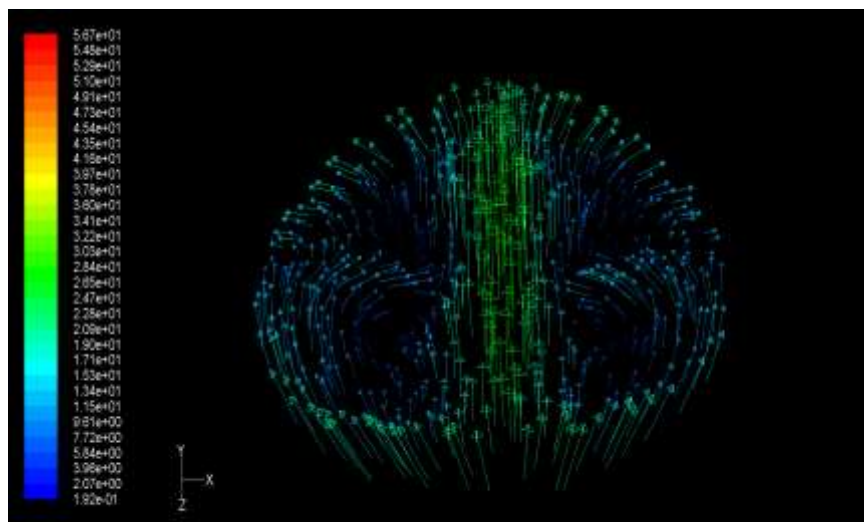


Рис. 3. Распределение скоростей в поперечном сечении дымовой трубы на отметке 15 метров

Продвигаясь по направлению течения к устью трубы закрутка постепенно вырождается и в верхней части трубы течение газового потока становится осесимметричным. Этому способствует конфузурная геометрия канала трубы и неизотермичность потока дымовых

газов, когда температура газов превышает температуру стен трубы. В таких потоках формируется большая заполненность профиля скорости [8, 9] и увеличивается скорость [10-12] течения дымовых газов. Таким образом, чтобы продлить рабочий ресурс дымовой трубы нужно воспрепятствовать формированию закрученных потоков. Результаты расчёта с перегородкой на входе в цокольной части дымовой трубы показали, что закрутка потока существенно ослабевает.

Итак, в данной статье рассмотрены результаты расчетов, выполненных по одно и трехмерной моделям течений. Результаты расчетов, полученные по трехмерной модели, позволили выявить в корневой части закрученные потоки дымовых газов относительно оси трубы, которые, в свою очередь, за счет центробежной составляющей формируют дополнительное динамическое давление на стены ствола дымовой трубы, которое стимулирует серную коррозию и разрушение сооружения в целом. В качестве противодействия закрученным потокам дымовых газов в корневой части на входе в дымовую трубу предлагается устанавливать перегородку, которая будет препятствовать закрутке потока и стимулировать процесс формирования осевого течения дымовых газов.

Список литературы:

1. Володин Ю.Г., Марфина О.П., Цветкович М.С. Расчет газодинамических характеристик дымовых труб // Надежность и безопасность энергетики – 2016 – № 1 – С. 41-45.
2. Володин Ю.Г., Марфина О.П., Цветкович М.С., Кирпичников А.П. Течение газов в промышленной дымовой трубе // Труды Академэнерго – 2017. – № 3. – С. 50-59.
3. Volodin Y., Marfina O., Tsvetkovich M. The study of gas flow in the industrial smoke pipe, // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 890 (2020) 012160 IOP Publishing.
4. Володин Ю.Г., Марфина О.П., Цветкович М.С., Кирпичников А.П. Влияние технического состояния и режимов работы дымовых труб на экологию// Вестник Казанского технологического университета, 2015, том 18, № 24. – С. 130-135.
5. Рихтер Л.А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. – М.: Энергия, 1975. – 312 с.
6. Дужих Ф. П., Осоловский В. П., Ладыгичев М. Г. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы: Справочное издание / Под редакцией Ф. П. Дужих. – М.: Теплотехник, 2004. – 464 с.
7. Володин Ю.Г., Марфина О.П. Математическое моделирование пусковых режимов энергетических установок. – СПб.: «Инфо-да», 2007. – 128 с.
8. Volodin Y. Nonsteady transfer of heat in the initial segment of a cylindrical tube // Journal of Engineering Physics. – 1989 – № 57(4) – p. 1166-1168.
9. Volodin Y., Fomin A. Experimental study of unsteady heat transfer in a convergent channel // Heat transfer. Soviet research – 1991 – № 23(1) – p. 71-77.
10. Volodin Y., Fedorov K., Yakovlev M. Aircraft and rocket engine theory: Unsteady effects and friction in the starting regime of power plants // Russian Aeronautics – 2006 – № 49(1) – p. 49-52.
11. Volodin Y., Fedorov K., Yakovlev M. Nonstationary effects and heat exchange in starting conditions of power plants // Russian Aeronautics – 2006 – № 49(4) – p. 63-68.
12. Volodin, Y. Unsteady effects and heat-transfer when starting up power plant // Thermal Engineering – 2007 – № 54(5) – p. 399-402.

OPERATIONAL DESTRUCTION OF CHIMNEYS AND ECOLOGY

Yuri G. Volodin, Ilyas R. Salakhov, Olga P. Marfina, Guzel G. Kayumova, Mihail S. Tsvetkovich

Annotation. Mathematical modeling of flue gas flow in an industrial chimney using one-dimensional and three-dimensional models is performed. Calculations performed using a three-

dimensional model showed the presence of swirling flue gas flows in the root part relative to the pipe axis. The centrifugal components of these flows form an additional dynamic component of the flue gas pressure on the pipe walls and stimulate the destructive effects of sulfur corrosion. It is shown that the presence of excess pressure relative to atmospheric pressure inside the chimney leads to the destruction of the pipe walls. A partition installed at the pipe inlet allows to weaken the flow twist and reduce the value of the dynamic component.

Keywords: chimney, flue gases, sulfur corrosion, destruction of chimneys.