

К вопросу о конденсатообразовании в дымовых трубах котельных установок

Повышение энергоэффективности и срока службы теплогенерирующих объектов является в настоящее время важнейшей задачей политики России в сфере энерго- и ресурсосбережения. Одной из насущных проблем в этой области является низкий срок службы дымовых труб.

Д.А. ХВОРЕНКОВ, старший преподаватель,
О.И. ВАРФОЛОМЕЕВА, к.т.н., доцент,
Ижевский государственный
технический университет

Теоретический срок службы железобетонных и кирпичных труб составляет 50 лет, металлических — 25 лет. Однако в связи с реальными условиями эксплуатации котельных установок эти сроки значительно сокращаются. По истечении этого срока техническое состояние дымовых труб приводит к необходимости их реконструкции, а чаще — к полной замене. В настоящее время стоимость полной реконструкции сборной железобетонной дымовой трубы составляет более 3,1–3,8 млн руб., а экономический ущерб от остановки котельной, в зависимости от наличия резервного теплоисточника, категории потребителей, времени года может достигать цифр, сравнимых с несколькими годовыми бюджетами района (населенного пункта).

Количество проблемных теплогенерирующих объектов в настоящее время высоко вследствие следующих причин:

1. Одновременная выработка ресурса многими котельными, введенными в эксплуатацию в 70–80-х гг.
2. Снижение фактической тепловой нагрузки производственными потребителями.
3. Тенденция к децентрализации систем теплоснабжения, приводящая к увеличению общего числа теплогенерирующих объектов.

Дымовые трубы работают в сложных условиях: при перепадах температуры, давления, влажности, агрессивном воздействии дымовых газов, ветровых нагрузках и нагрузках от собственной массы.

В результате механических (силовых и температурных), химических и комбинированных воздействий возникают повреждения конструкций дымовых труб. В соответствии с ПБ 03-445-02 «Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных труб» категория опасности повреждения конструкций труб устанавливается по следующим признакам:

- «**A**» — повреждения основных несущих конструкций, представляющие непосредственную опасность их разрушения;
- «**B**» — повреждения труб, не предста-



Рис. 1. Повреждения кирпичной дымовой трубы (топливо — газ) (а — эрозионные повреждения с разрушением кирпича лещадками; б — разрушение кирпича на отметке 15 м; в — разрушение раствора швов; г — внутренняя поверхность ствола трубы)

вляющие при их обнаружении непосредственной опасности разрушения их несущих конструкций, но способные в дальнейшем вызвать повреждения других элементов и узлов или при развитии повреждения — перейти в категорию «**A**»;

- «**B**» — повреждения локального характера, которые при последующем развитии не могут оказать влияния на основные несущие конструкции.

В зависимости от категории опасности повреждения делается вывод об их техническом состоянии: исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, неработоспособное, предельное. Вывод отмечается в заключении экспертизы.

Конденсатообразование является одной из наиболее распространенных причин повреждений конструкций дымовых труб. Конденсатообразование на внутренней поверхности дымовых труб и его последствия (такие как намокание несущих конструкций, увеличение коэффициента теплопроводности стенок, размораживание и т.д.) приводят к следующим наиболее распространенным повреждениям конструкций:

- разрушение защитного слоя железобетонных труб, обнажение и коррозия арматуры (категории опасности «**A**» или «**B**»);

- разрушение кирпича кирпичных труб (категории опасности «**A**», «**B**» или «**C**» в зависимости от глубины и масштабов разрушения);
- интенсивная сульфатная коррозия внутренней поверхности бетона ствола железобетонных труб (категории опасности «**A**» или «**B**»);
- разрушение теплоизоляции (категория опасности «**B**»);
- пустошовка в кладке футеровки, снижение газоплотности и прочности футеровки (категория опасности «**B**»);
- разрушение кирпичной кладки футеровки железобетонных и кирпичных дымовых труб лещадками (категории опасности «**A**» или «**B**»);
- пониженная прочность монолитной футеровки железобетонных труб (категория опасности «**B**»).

Многолетний опыт эксплуатации дымовых труб подтверждает связь выше описанных повреждений с конденсатообразованием. Так, в процессе визуального осмотра внутренней и наружной поверхности ствола трубы котельной одного из предприятий Удмуртии было установлено:

1. Кирпичная кладка ствола имеет глубокие эрозионные повреждения с разрушением кирпича лещадками по всей высоте трубы. Общая площадь трубы,

подверженная повреждениям, — около 70 % поверхности (рис. 1, а).

2. Глубина разрушения кирпича на наружной поверхности на отметке 15 м и выше достигает 100–120 мм (рис. 1, б).

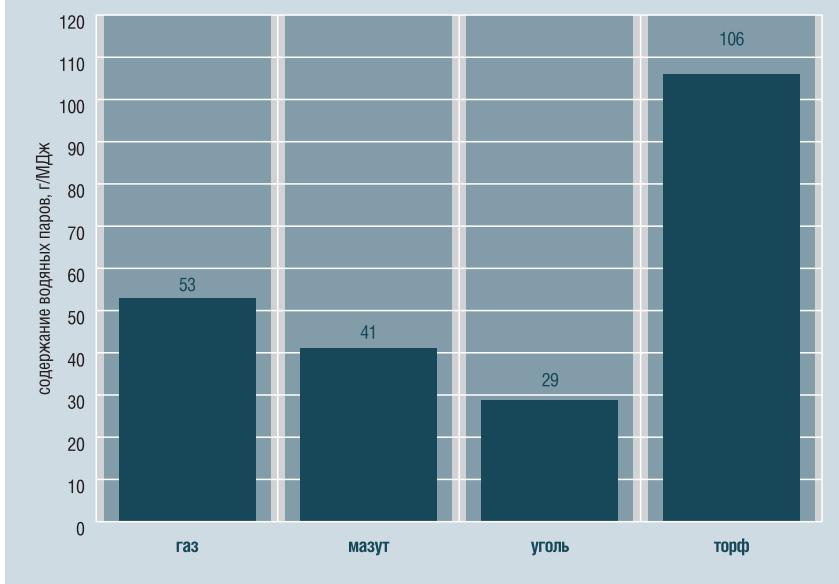
3. Глубина разрушения раствора швов на наружной поверхности — 40 мм (рис. 1, в).

4. Внутренняя поверхность ствола трубы находится в работоспособном состоянии (рис. 1, г).

Такого рода повреждения отмечаются и на других железобетонных и кирпичных дымовых трубах. Подобные повреждения дымовых труб наиболее характерны для объектов, использующих малосернистые виды топлива. Эти повреждения есть следствие воздействия влаги на конструкции дымового тракта.

Существует мнение, что наблюдаемая интенсивная эрозия наружной поверхности дымовой трубы происходит под воздействием влаги наружного воздуха, т.е. водяные пары атмосферы конденсируются на наружной поверхности трубы. Однако это утверждение может быть верно лишь в случае неработающей котельной (это явление не имеет значительных последствий, поэтому далее рассматриваться не будет). В рассматриваемом же случае (режим выработки тепловой энергии) стенка ствола дымовой трубы имеет температуру большую, чем наружный воздух, а следовательно, переход влаги воздуха из состояния

Рис. 2. Содержание водяных паров в дымовых газах различных топлив



перегретого пара в состояние сухого насыщенного может происходить в атмосферном воздухе, а не на поверхности трубы. Из этого можно сделать вывод, что источником разрушающей влаги являются водяные пары не воздуха, а дымовых газов.

Содержание водяных паров в дымовых газах будет различным для разных видов топлива. Так, наибольшее количество влаги в дымовых газах — при сжигании фрезерного торфа, на втором месте — природный газ, наименьшее

количество водяных паров содержится в продуктах сгорания мазута и угля (рис. 2).

Источниками водяных паров в дымовых газах являются:

1. Влага, образующаяся при горении водородсодержащих компонентов.
2. Влага, поступающая с топливом.
3. Влага воздуха, подаваемого в топку котла.
4. Влага, поступающая с форсуночным паром в случае сжигания жидкого топлива.



ТЕПЛО В ВАШЕМ ДОМЕ

ОТОПИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНТАЖ СЕРВИС

BAXI **VIESSMANN** **NEVA LUX**



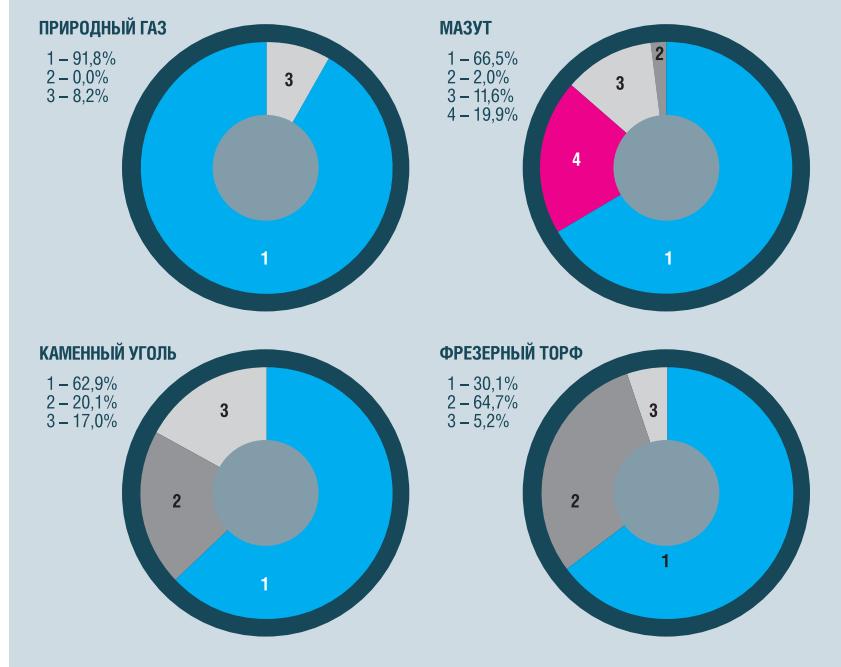
Санкт-Петербург
ул. Бабушкина, 2
тел./факс: 325-49-00
e-mail: ko@baltgaz.ru

Москва
ул. Привольная, 70, корп. 1
тел./факс:
(095) 741-77-67

Краснодар
ул. Вишняковой, 1
тел./факс: (8612) 39-58-96, 68-09-52
e-mail: krasn@baltgaz.ru

www.baltgaz.ru

Рис. 3. Доля различных источников в водяном паре дымовых газов некоторых топлив
 (1 — влага, образующаяся при горении водородсодержащих компонентов; 2 — влага, поступающая с топливом; 3 — влага воздуха, подаваемого в топку котла; 4 — влага, поступающая с форсуночным паром в случае сжигания жидкого топлива)



▶ При сжигании любых видов топлива (твердых, жидкых, газообразных), за исключением фрезерного торфа, отвечающих соответствующим ГОСТ, даже в сумме последние три составляющие не вносят и половины от общей доли водяных паров дымовых газов. Основная доля (от 60 до 99 % в зависимости от вида и состава топлива) образуется при окислении горючих водородсодержащих компонентов топлива (рис. 3).

Итак, водяные пары являются неотъемлемым компонентом дымовых газов. Позитивный, но недостаточный эффект снижения влажности дымовых газов принесет мероприятие по осушке топлива или воздуха (исключая случай сжигания фрезерного торфа).

Какова же физическая картина воздействия водяных паров дымовых газов на конструкции дымовой трубы?

Водяной пар дымовых газов имеет большее парциальное давление, чем водяные пары атмосферного воздуха. Вследствие разности парциальных давлений будет иметь место диффузия водяного пара через ствол дымовой трубы в направлении изнутри наружу. При достижении температуры точки росы водяные пары будут конденсироваться и далее диффундировать уже в виде жидкости. При достаточно низких температурах наружного воздуха влага в порах стенки переходит в твердое состояние. В результате многочисленных циклов замораживания-размо-

раживания даже в течение одного сезона наружные слои кирпичной кладки или железобетона интенсивно теряют механическую прочность и разрушаются.

В случае, когда конденсация водяных паров дымовых газов происходит уже на внутренней поверхности трубы, механизм диффузии водяных паров частично заменяется на процесс капиллярного движения влаги в направлении наружной поверхности. И этот процесс, вероятно, насыщает материал ствола дымовой трубы большим количеством влаги, чем диффузия газообразной фазы. Отсюда следует, что конденсация на внутренней поверхности дымовой трубы может являться причиной вышеупомянутых повреждений.

Опыт эксплуатации дымовых труб котельных, работающих на мазуте и угле, показывает, что повреждениям более подвержена футеровка, чем наружная поверхность ствола. Это происходит по двум причинам (см. рис. 4).

Во-первых, при сжигании жидкого или твердого топлив температура уходящих газов, как правило, выше, чем температура продуктов горения природного газа, отсюда — уменьшение общего количества сконденсированной влаги на внутренней поверхности дымовой трубы при прочих равных условиях.

Во-вторых, в жидких и твердых видах топлива допускается большее содержание серы, чем в газообразном топливе. Вступая в химическую реакцию с серо-содержащими компонентами дымовых газов (например, сернистым газом (SO_2) или не прореагировавшим в топке сероводородом (H_2S), водяные пары и водяной конденсат образуют кислоты, которые разрушают в первую очередь внутреннюю поверхность трубы, а также, вследствие диффузии через стенку, и несущие конструкции труб.

Какова же связь между режимом работы котельной установки и конденсатообразованием в дымовой трубе? Уменьшение тепловой нагрузки котлоагрегата приводит к уменьшению количества продуктов горения, что при неизменной конструкции элементов котельной установки влечет за собой уменьшение температуры дымовых газов (рис. 5).

При достаточно низких температурах наружного воздуха и высокой стоимости или технической сложности применения мероприятий по борьбе с конденсатообразованием (например, искусственной вентиляции пространства между футеровкой дымовой трубы и ее стволом) создаются условия для конденсации водяных паров на внутренней поверхности ствола дымовой трубы.



Рис. 4. Повреждения кирпичной дымовой трубы (топливо — мазут) (а — кирпичная кладка и раствор в швах не имеют глубоких эрозионных повреждений, марка кирпича соответствует проектной; б — марка кирпича футеровки не соответствует проектной, снижение прочности кирпичной кладки футеровки произошло по причине химической коррозии)



10 ЛЕТ

ТЕРМОРОС ПРЕДСТАВЛЯЕТ > КОТЛЫ И ГОРЕЛКИ LAMBORGHINI



АВТОМОБИЛЬНОЕ КАЧЕСТВО ДОСТУПНЫЕ ЦЕНЫ

- От 20 до 3000 кВт
- На любой вид топлива



Lamborghini
CALORECLIMA

КОТЛЫ и ГОРЕЛКИ



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ представитель:
(095) 78-555-00
www.termoros.com

Рис. 5. Зависимость температуры уходящих газов от паропроизводительности котла ДЕ 10-14-ГМ

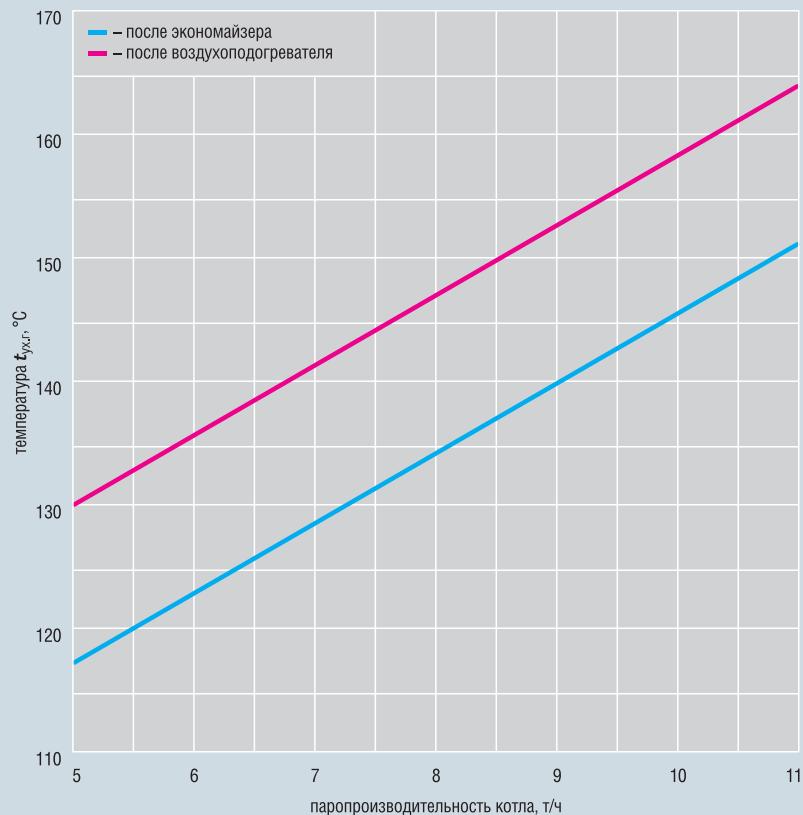
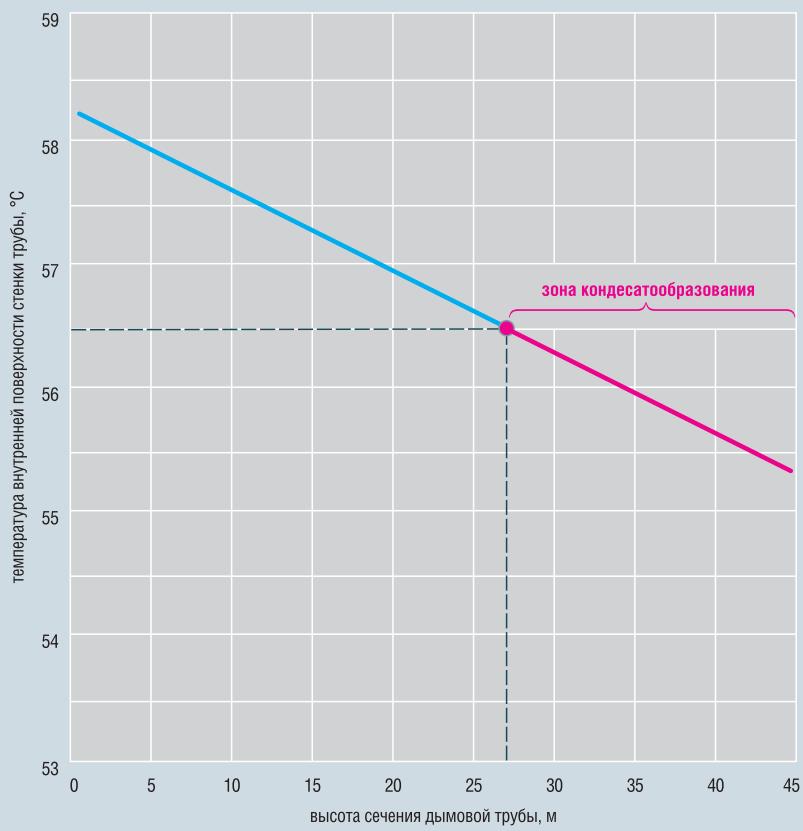


Рис. 6. Зона конденсации водяных паров дымовых газов на стенке трубы



▶ Для определения зоны конденсации водяных паров в дымовой трубе был выполнен оценочный расчет. В качестве горючего был выбран наиболее распространенный в Удмуртии вид топлива — природный газ. Температура продуктов сгорания на входе в трубу определялась на основе теплового расчета котлоагрегата ДЕ 10-14-ГМ, оснащенного экономайзером и воздухоподогревателем. Тепловая нагрузка принималась минимально разрешенной по паспорту для данного котлоагрегата — 50 %. Элементы дымового тракта, рассчитанные на работу двух котлоагрегатов ДЕ 10-14-ГМ в номинальном режиме, работают при нагрузке от одного котла. Температура наружного воздуха принималась равной температуре наиболее холодной пятидневки для г. Ижевска ($t_h = -34^{\circ}\text{C}$). Расчет был выполнен для кирпичной неизолированной дымовой трубы высотой 45 м. Для оценки температуры дымовых газов на внутренней поверхности стенки были использованы уравнения стационарной теплопередачи. Использован коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубы согласно СНиП II-3-79* «Строительная тепло-техника» ($\alpha_h = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$). Средним по высоте трубы принималось давление дымовых газов, в зависимости от его значения рассчитывалось парциальное давление водяных паров продуктов сгорания топлива.

При заданных условиях нижняя граница зоны конденсатообразования расположена на высоте 27 м (рис. 6) и охватывает вышерасположенные участки. Таким образом, в зоне негативного воздействия оказывается значительная часть трубы. При увеличении тепловой нагрузки нижняя граница зоны выпадения конденсата будет перемещаться вверх и при достижении значений нагрузки близких к номинальной — совсем исчезнет.

Из известных путей предотвращения конденсатообразования в дымовых трубах следует выделить:

1. Пассивные методы:

- тепловая изоляция дымовых труб;
- уменьшение паропроницаемости материала трубы;

2. Активные методы:

- искусственная или естественная вентиляция зазора между футеровкой и стволом дымовой трубы, в т.ч. подогретым воздухом;
- уменьшение количества водяных паров в дымовых газах путем их конденсации в конденсационных теплообменных аппаратах. □