



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ НА ТЭЦ-1 Г.КИШИНЕВА

Мустьяцэ В.Т., Бутенко Н.А., Вареник А.М.  
Технический университет Молдовы, ТЭЦ-1 г. Кишинева

**Аннотация.** В статье анализируются такие негативные воздействия на дымовую трубу ТЭЦ-1, как температура и влажность уходящих газов, которые вызывают дефекты и повреждения внутренней поверхности ствола дымовой трубы. В ходе работы была рассчитана точка росы водяных паров дымовых газов. Был проанализирован теплообмен в дымовой трубе и проведен тепловой расчет охлаждения дымовых газов и контактирующей с ними поверхности трубы для двух режимов работы ТЭЦ-1. На основе расчетов и обследований дымовой трубы были даны рекомендации по её ремонту.  
**Ключевые слова:** дымовая труба, теплообмен, температурное поле, точка росы.

## RESEARCH OF THE TEMPERATURE FIELD AND TECHNICAL CONDITION OF THE CHIMNEY ON CHP-1 KISHINEV

Musteata V.T., Butenko N.A., Varenik A.M.  
Technical university of Moldova, CHP-1 of Kishinev

**Abstract.** In article such negative influences on a chimney of thermal power station-1, as temperature and humidity of outgoing gases which cause defects and damages of inner surface of a trunk of a chimney are analyzed. During work the dew-point of water vapors of smoke gases has been calculated. Heat exchange in a chimney has been analysed and thermal calculation of cooling of smoke gases and a surface of a pipe contacting to them for two modes of operation of thermal power station-1 is lead. On the basis of calculations and inspections of a chimney recommendations on its repair have been given.  
**Keywords:** a chimney, heat exchange, a temperature field, a dew-point.

## CERCETAREA CÂMPULUI DE TEMPERATURĂ A COȘULUI DE FUM ȘI ELABORAREA MĂSURILOR DE PERFECTIONARE TEHNICĂ A LUI LA CET-1 M.CHIȘINĂU

Musteață V.T., Butenko N.A., Varenic A.M.  
Universitatea Tehnica a Moldovei, CET-1 m.Chisinau

**Rezumat.** Lucrarea de față prezintă o analiză a impactului negativ al temperaturii și umidității gazelor de ardere asupra coșului de fum la SA CET-1 care produce defecte și daune la suprafața interioară a cosului de fum. Au fost calculate punctul de rouă a vaporilor de apă gazelor de ardere, a fost analizat procesul de transfer de căldură în coșul de fum și a fost calculate procesul de răcire a gazelor de ardere și suprafeței de contactarea coșului de fum cu gazele pentru 2 regimuri de lucru a CET-1. Pe baza calculelor și examinarea tehnică au fost dat recomandări cu privire la repararea.  
**Cuvinte cheie:** coș de fum, transfer de căldură, câmp de temperatură, punct de rouă.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Дымовые трубы, назначением которых является отвод газов от тепловых установок и рассеивание их в атмосфере, относятся к сложным специальным инженерным сооружениям башенного типа и являются неотъемлемой частью технологических схем промышленных предприятия и тепловых электростанций. От надежности, прочности и долговечности этих сооружений зависят бесперебойная работа подключаемого к ним оборудования и агрегатов, обеспечение тепло-

электроэнергией как отдельных промышленных предприятий, так и целых регионов.

На тепловых электрических станциях эксплуатируются дымовые трубы различных конструкций – металлические, кирпичные, железобетонные с футеровкой, вентилируемым зазором, металлическими газоотводящими стволами, кремнебетонным стволом и с монолитной футеровкой.

Конструкция дымовых труб постоянно совершенствуется, а выбор конструкции связан в основном с режимом работы ТЭС и составом сжигаемого топлива.

С увеличением мощности ТЭЦ и других промышленных предприятий, а также для обеспечения чистоты воздушного бассейна, высоты дымовых труб стали возрастать. Это повысило ответственность научных разработок проектировщиков и строителей, поставило перед ними сложные проблемы разработки новых конструкционных материалов, технологических процессов и более мощных грузоподъемных средств. Кроме того, возникают проблемы, связанные с физико-химическими процессами, протекающими в трубах, особенностями напряженного состояния ствола дымовой трубы, работающей в условиях пульсирующих тепловых режимов.

За последние четверть века в республике резко снизился уровень промышленного производства, вызванный экономическим и политическим кризисом, разрывом установившихся ранее связей, приватизацией предприятий. В результате значительно изменились режимы работы промышленных дымовых труб, ослаб контроль над их техническим состоянием, что пагубно сказалось на их прочностных характеристиках и может явиться причиной серьезных аварий.

Таким образом, возникает необходимость в создании условий, препятствующих дальнейшему разрушению поверхности труб, а также условий, позволяющих повысить долговечность и работоспособность конструкций промышленных дымовых труб.

## **2.ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СУЩЕСТВУЮЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ ТЭЦ-1**

Железобетонная дымовая труба высотой  $H=180$  м и верхним внутренним диаметром  $D=6$  м построена в 1972 году. Железобетонный ствол трубы имеет коническую форму с переменным уклоном и толщиной стенки, изменяющейся от 180 мм сверху до 700 мм снизу. Ствол выполнен из бетона, защитный слой бетона для наружной вертикальной арматуры принят 40 мм. Уклон наружной поверхности ствола постоянный по всей высоте и равен 0,053.

За последние года на ТЭЦ-1 был сделан ряд как визуальных, так и инструментальных обследований дымовой трубы. Проведенные обследования технического состояния ствола показало, что в основном он находится в нормальном состоянии. Исключение составляет верхняя часть дымовой трубы, где на наружной поверхности железобетонного ствола видны потеки конденсата в районе стыков секций бетонирования. Также в верхней части дымовой трубы были обнаружены выпучины, выпадение отдельных кирпичей, трещины, образование зон с отложением продуктов сгорания и т.д. Это объясняется тем, что дымовые трубы работают в особо сложных условиях перепадов температур, давления, влажности, агрессивного воздействия дымовых газов, ветровых нагрузок и нагрузок от собственной массы. Их конструкции одновременно подвергаются различным видам

коррозии, эрозии, испытывают значительные температурные напряжения, физические и механические нагрузки.

Конструкции дымовых труб, контактирующих с атмосферой, подвергаются различным видам физико-химических воздействий. Источником этих воздействий являются различные атмосферные осадки, твердые частицы, газообразные компоненты, содержащиеся в воздухе, солнечное облучение, ветровое давление, суточные и периодические колебания температуры воздуха, его влажность и другие характеристики. При отсутствии агрессивных газов и нормальной плотности бетона на коррозию железобетонных конструкций атмосферная влажность оказывает незначительное влияние. Если же имеются такие газы (диоксид серы, хлор, углекислый газ), то в зависимости от их содержания в атмосфере степень ее агрессивности изменяется от слабой до сильной главным образом из-за опасности коррозии арматурной стали.

В реальных условиях свойства материалов, особенно железобетона, могут значительно изменяться под действием температуры и влажности воздуха, агрессивных воздействий атмосферных газов, а также замораживания и оттаивания, что не редко приводит к образованию трещин.

Конденсат при малой его жесткости, без примесей кислот и сульфатов, например, при газообразном топливе или при мокрой очистке дымовых газов, вызывает коррозию первого вида – выщелачивание свободной извести из цементного камня бетонов и растворов. При выщелачивании из цементного камня 30-40 % свободной извести бетон разрушается.

Конструкции дымовых труб испытывают температурные воздействия как от эвакуируемых ими дымовых газов, так и от воздействия солнечной радиации при одностороннем нагреве, суточного колебания температур, климатических изменений и т.п.

Основной недостаток эксплуатации дымовых труб – их работа в непроектном режиме. В последние годы из-за спада промышленного производства большая часть предприятий вынуждена работать с незагруженными производственными мощностями. Дымовые трубы, рассчитанные на удаление отходящих газов от теплотехнических агрегатов при их полноценной загрузке, подвергаются усиленному износу из-за уменьшения объемов дымовых газов, понижения их температуры, нестационарных загрузок и смены вида топлива.

На условия обеспечения надежной работы дымовой трубы и предупреждения выпадения влаги на ее стенки влияет не только температура уходящих газов, но также и их расход. Работа трубы с режимами нагрузки существенно ниже проектных увеличивает вероятность коррозии при низких температурах. При сжигании природного газа температуру уходящих газов рекомендуется поддерживать не ниже 80 °С.

### 3.ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В СТВОЛЕ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ ТЭЦ-1

Поступающие в дымовую трубу продукты горения, имеющие температуру выше температуры окружающей среды, вступают в теплообмен со стенками газоотводящего ствола.

Задачей теплотехнического расчета дымовой трубы является определение температурного режима ограждающих конструкций.

Вычисления температурных полей и тепловых потоков в теле ствола дымовой трубы не является конечной целью, а дают исходные данные, необходимые для определения термических напряжений, которые в общем случае возникают в телах при их жестком закреплении и появлении неоднородного поля температур.

Вследствие теплового воздействия на элементы трубы, на более нагретой поверхности возникают кольцевые и осевые напряжения сжатия, на менее нагретой – растягивающие кольцевые и осевые напряжения. При этом тепловое расширение конструктивных элементов дымовой трубы происходит в условиях свободной деформации.

Параметром, определяющим значение термических напряжений в элементах трубы, является градиент температуры, в случае стационарного режима работы – перепад по толщине кирпичной кладки или железобетонной оболочки.

Для футеровки из кислотоупорной керамики допустимый температурный перепад принимают равным 80 °С, а для обеспечения надежной работы железобетонного ствола считается оптимальным поддерживать температуру на его внутренней поверхности около 100 °С, хотя по строительным нормам допускается использовать обычный бетон при температуре 200 °С.

Толщина футеровки должна быть рассчитана таким образом, чтобы перепад температур в железобетонной оболочке из бетона марки 300 не превышал 25 °С.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации дымовых труб необходимо знать температурный режим их работы и перепады температур на поверхностях ствола, футеровки и изоляции. От этого во многом зависит надежность работы труб их всех видов материалов, в связи, с чем необходимо проводить их тепловой расчет.

#### 3.1.Определение температуры точки росы дымовых газов

Известно, что в дымовых газах содержатся водяные пары, парциальное давление которых определяется качеством топлива (влажностью, содержанием водорода) и избытком воздуха. Температуру конденсации влаги, содержащейся в отходящих газах, определяют вид топлива, избыток воздуха для горения и связанная с ним концентрация  $CO_2$  в продуктах сгорания.

К примеру, при сжигании газа при концентрации  $CO_2 = 9,5\%$  объемная концентрация водяных паров

составит 15,7 %, а температура точки росы – около 55°С. Существует закономерность, согласно которой температура точки росы тем выше, чем больше содержание водорода в топливе. Обычными на практике являются следующие ориентировочные значения: для природного газа 50–55 °С, для жидкого топлива около 45 °С, для угля – примерно 25 °С, для древесины – ориентировочно 30–50 °С, в зависимости от влажности топлива.

Для определения температуры конденсации водяных паров дымовых газов рассчитаны приведенные объемы продуктов сгорания и их парциальные давления.

Объемный состав природного газа, используемого на ТЭЦ-1, выраженный в процентах, характеризуется следующими данными: диоксид углерода  $CO_2 - 0,082$ ; метан  $CH_4 - 97,38$ ; этан  $C_2H_6 - 1,208$ ; пропан  $C_3H_8 - 0,395$ ; бутан  $C_4H_{10} - 0,128$ ; пентан  $C_5H_{12} - 0,024$ ; гексан  $C_6H_{14} - 0,004$ ; азот  $N_2 - 0,769$ ; кислород  $O_2 - 0,012$ .

Низшая теплота сгорания сухого газа:  $Q_n^p = 33,8 MJ/m^3$ .

Задаваясь значениями коэффициента избытка воздуха « $\alpha$ » в различных точках газового тракта, можно определить объем продуктов сгорания. Коэффициент избытка воздуха в дымовой трубе принимаем  $\alpha = 1,5$ .

В результате проведенных расчетов получаем: теоретическое количество воздуха -  $V^0 = 9,616 m^3/m^3$ ; теоретический объем азота  $V_{N_2}^0 = 7,604 m^3/m^3$ ; объем

трехатомных газов  $V_{RO_2} = 1,017 m^3/m^3$ ; теоретический объем водяных паров -  $V_{H_2O}^0 = 2,163 m^3/m^3$ ;

объем водяных паров  $V_{H_2O} = 2,241 m^3/m^3$ ;

объем дымовых газов  $V_{\Gamma} = 15,67 m^3/m^3$ .

Расчетное безразмерное парциальное давление трехатомных газов  $r_{RO_2} = V_{RO_2}/V_{\Gamma} = 0,065$ ; парциальное давление водяных паров  $r_{H_2O} = V_{H_2O}/V_{\Gamma} = 0,143$ ; полное парциальное давление дымовых газов  $r_{\Gamma} = 0,208$ .

Температура насыщения водяных паров при расчетном парциальном давлении составляет 53 °С.

#### 3.2.Расчет процессов охлаждения дымовых газов в трубе

Рассмотрим процесс теплообмена в дымовой трубе. Расчет температурных полей ограждающих конструкций дымовых труб выполняют по зонам последовательно в соответствии с теорией стационарной теплопроводности.

Для стационарного режима температуру по толщине ограждающих конструкций в пределах расчетной зоны определяют по формуле:

$$t_x = t_2 - \frac{(t_2 - t_6)}{R_0} \cdot \left( R_2 + \sum_1^x R_i \right),$$

где:  $t_2$  – температура дымовых газов, °С;

$t_6$  – температура (расчетная) наружного воздуха, °С;

$R_o$  – общее термическое сопротивление ограждение теплопередаче,  $m^2 \cdot K/W$ :

$$R_o = R_z + \sum_1^n R_i + R_e,$$

$R_z$  – термическое сопротивление при теплоотдаче от дымовых газов к внутренней поверхности ствола;

$R_e$  – термическое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности ствола к наружному воздуху,  $m^2 \cdot K/W$ .

По результатам проведенных испытаний в зависимости от высотной отметки расчетной зоны приняты следующие значения коэффициента теплоотдачи:

от 0 до 20 м – 23,3  $W/(m^2 \cdot K)$ ; от 20 до 80 м – 34,9  $W/(m^2 \cdot K)$ ; от 80 до 120 м – 46,5  $W/(m^2 \cdot K)$ ; от 120 до 250 м – 58,2  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Расчет проведен для двух режимов, с температурами дымовых газов на входе в трубу 90 и 80 °С. Согласно указаниям по эксплуатации труб при сжигании природного газа температуру уходящих газов рекомендуется иметь не ниже 80 °С.

#### Пример расчета теплопередачи в дымовой трубе по данным на 25 января 2011 года.

Исходные данные для расчета: почасовой расход природного газа составил  $V_{газ} = 21100 \text{ м}^3/h$ ; температура наружного воздуха  $t_n = -6 \text{ °С}$ ; температура дымовых газов на входе в трубу  $t_b = 90 \text{ °С}$ . высота отметок +65 м, +105 м, +145 м и +175 м.

В расчете учитывается, что дымовые газы охлаждаются по мере прохождения дымовой трубы. Температура на входе в трубу определяется по показаниям термометра, установленного в верхней точке газохода на входе в трубу. Температуру продуктов сгорания на выходе из устья дымохода находится с учетом их охлаждения по длине трубы. Охлаждение газов в трубе на 1 метр её высоты по данным экспериментальных исследований определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{0,34}{\sqrt{\frac{B_{газ}}{1000}}} = 0,074, \text{ К/м}$$

Температура на n-отметке:  $t_n = t_b - h_n \cdot \Delta t$ .

Зависимость температуры дымовых газов по высоте трубы от расхода природного газа приводится на рис.3.1. Расход природного газа указан на рисунке.

По изложенной выше методике рассчитаны термические сопротивления при теплоотдаче от наружной поверхности ствола к наружному воздуху и термические сопротивления при теплоотдаче от дымовых газов к внутренней поверхности ствола на различных отметках.

#### Пример расчета теплопередачи в дымовой трубе по данным на 16 марта 2011 года.

Исходные данные для расчета: почасовой расход природного газа составил  $V_{газ} = 13000 \text{ м}^3/h$ ; температура наружного воздуха  $t_n = 10 \text{ °С}$ ;

температура дымовых газов на входе в трубу  $t_b = 73 \text{ °С}$ .

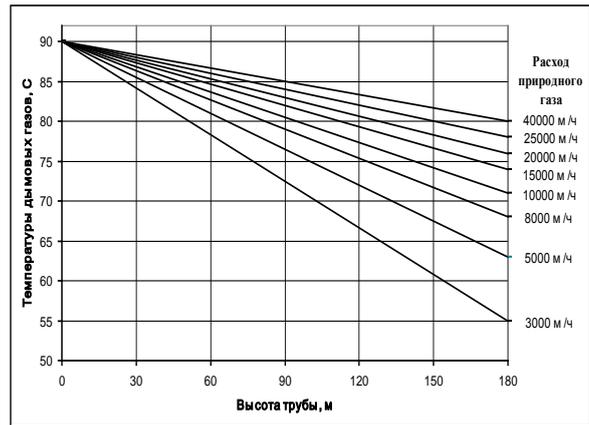


Рис. 3.1. Зависимость температуры дымовых газов по высоте трубы от расхода природного газа

Температурный градиент для дымовой трубы в этом случае составил  $\Delta t = 0,094 \text{ К/м}$ .

Термические сопротивления слоев дымовой трубы, а также термическое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности ствола к наружному воздуху, остаются без изменения. Пересчитываем термические сопротивления при теплоотдаче от дымовых газов к внутренней поверхности ствола на остальных отметках и определяем термические сопротивления и температуры слоев дымовой трубы для указанных условий. Согласно полученным результатам построен график зависимости температуры внутренней поверхности от высоты дымовой трубы (рис.3.2).

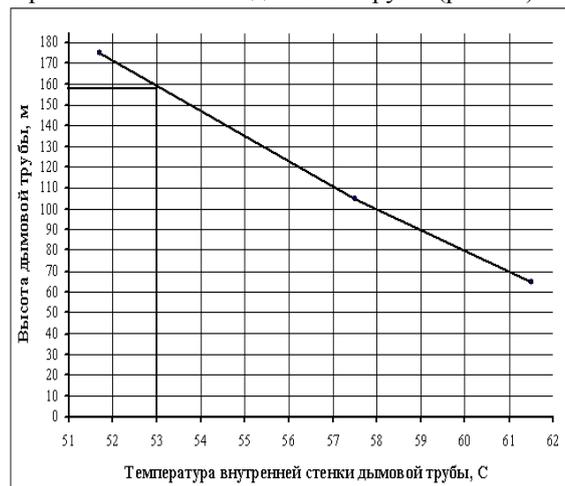


Рис. 3.2 Зависимость температуры внутренней поверхности от высоты дымовой трубы

При заданных условиях нижняя граница зоны конденсатообразования расположена на высоте 159 м и охватывает вышерасположенные участки. При увеличении тепловой нагрузки нижняя граница зоны выпадения конденсата будет перемещаться вверх и, наоборот, при уменьшении нагрузки негативное воздействие будет сказываться на все большей части дымовой трубы.

#### **4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И НЕКОТОРЫЕ МЕРЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ**

Как показывают проведенные расчеты, при температуре поверхности футеровки выше точки росы и отсутствии конденсации на поверхности трубы, коррозия футеровки, тем не менее, не исключается. В этом случае перенос внутри пористого тела может происходить на молекулярном уровне в виде диффузии газа и на молярном уровне в виде фильтрации при избыточном давлении газов. Так как температура по толще футеровки понижается, то газы, проходя внутри ее, достигают той зоны, в которой возможна их конденсация. Согласно изложенному механизму можно объяснить причины, вызвавшие разрушение газоотводящей трубы на ТЭЦ-1. В связи с усиленными ветровыми нагрузками в зимний период в верхней части трубы температура прогрева верхних частей конструкции значительно уступает нижней части, вследствие чего, процесс конденсации влаги начинается именно на верхних участках дымовой трубы. В результате процесса теплообмена агрессивный конденсат фильтруется сквозь футеровку в полость между кладкой и железобетонным стволом. Это вызывает значительные разрушительные процессы. Имеющиеся дефекты и повреждения снижают долговечность строительных конструкций дымовой трубы, в связи с чем, требуется проведение комплекса ремонтно-восстановительных работ в течение года, связанных с очисткой, ремонтом и вводом в эксплуатацию системы конденсатоотвода; проведением ремонта примыканий газохода к стволу дымовой трубы и ремонта разделительной стенки; установкой защитного колпака.

Для локализации обнаруженных при обследовании повреждений футеровки и железобетонного ствола дымовой трубы и предотвращения их дальнейшего разрушения предлагаются как наиболее эффективные и целесообразные методы ремонта:

-замена кирпичной кислотоупорной футеровки и минераловатной теплоизоляции на кислотоупорный торкретбетон с применением пенополиуретановой теплоизоляции. Благодаря непрерывности нанесения и хорошим показателям паро-, влаго- и теплоизоляции позволяет увеличить срок службы железобетонного ствола;

-расчет и подбор оптимального сечения, изготовление и монтаж внутри существующего железобетонного ствола металлического или пластикового ствола («труба в трубе»), что улучшит эксплуатационные показатели и значительно продлит срок службы железобетонного ствола как несущей конструкции.

Рекомендуется произвести замену существующей футеровки из кислотоупорного кирпича на монолитную полимербетонную по прижимной изоляции по всей внутренней поверхности газоотводящего ствола дымовой трубы. Первоочередными ремонтными и восстановительными работами являются работы по

замене футеровки, которая признана непригодной к нормальным условиям (отм. +150-170 м) и аварийной (отм. +170-180 м) на полимербетонную футеровку, используя полимербетонный состав ЭМАКО S88С, который обеспечит сохранность конструктивных элементов дымовой железобетонной трубы и большую газоплотность футеровки. Наличие термостойкой полимерной фибры обеспечивает повышенную трещиностойкость покрытия, что создает условия для большей долговечности выполненной защиты. Основное внимание при подборе ремонтной сухой смеси для футеровки было уделено обеспечению ее качеств, таких как: высокие плотность, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость; отсутствие отделения влаги и усадки; хорошее сцепление со старым бетоном, сталью, кирпичной футеровкой; стойкость к химическому воздействию; высокая подвижность, сцепление с вертикальными и потолочными поверхностями; хорошая динамика набора прочности; стабильность качества и долговечность.

Необходимость повышения надежности и долговечности газоотводящих труб требует не только более совершенных решений по конструкциям газоотводящего ствола, но и организации контроля эксплуатационных режимов их работы.

Не менее важно также соблюдение в трубе любой конструкции требуемого температурного режима. Поэтому для контроля эксплуатационных режимов на железобетонных трубах должен предусматриваться тепловой контроль. При этом устанавливаемый объем контрольно-измерительной аппаратуры выбирается в соответствии с типом конструкции трубы, но не менее чем на двух отметках по высоте (как правило, на уровне нижней светофорной площадки и на уровне 1/3 высоты трубы от ее устья).

#### **4.ВЫВОДЫ**

1.В результате проведенной работы были проведены теплотехнические расчеты процесса теплообмена дымовых газов и окружающей среды через многослойный ствол дымовой трубы высотой 180 м для двух режимов работы теплотехнического оборудования ТЭЦ-1.

2.Была также рассчитана температура точки росы для водяных паров дымовых газов для используемого природного газа в дымовой трубе, которая составила 53 °С.

3.Сделан вывод об образовании конденсата на поверхности футеровки при температуре стенки ниже точки росы. При температуре поверхности футеровки выше точки росы и отсутствии конденсации на поверхности коррозия футеровки тем не менее не исключается. В этом случае перенос внутри пористого тела может происходить на молекулярном уровне в виде диффузии газа и на молярном уровне в виде фильтрации при избыточном давлении газов. Так как температура по толще футеровки понижается, то газы, проходя внутри ее, достигают той зоны, в которой возможна их конденсация, а именно в воздушной

прослойке, на месте которой должна находиться теплоизоляция в виде минеральных плит. Это также видно и по результатам обследования дымовой трубы и наличие таких дефектов, как: следы потеков конденсата на прижимной изоляции, выпадение отдельных кирпичей, разрушение поверхности кирпичей и швов между кирпичами, горизонтальные и вертикальные трещины в кирпичной кладке.

4.Износ тепловой изоляции, состояние неремонтопригодности кирпичных футеровок, а также попутное снижение прочности бетонного ствола приводят к необходимости реконструкции дымовых труб. При этом наиболее целесообразным и эффективным способом восстановления надежности и продления срока службы дымовой трубы является замена кирпичной футеровки монолитной из полимербетона, полимерсиликатбетона, которая выполняет функции и футеровки, и теплоизоляции.

5.Для капитального ремонта дымовой трубы рекомендовано использование полимербетонного состава ЭМАКО S88C, который обеспечит сохранность конструктивных элементов дымовой железобетонной трубы и большую газоплотность футеровки. Наличие термостойкой полимерной фибры ЭМАКО S88C обеспечивает повышенную трещиностойкость покрытия, что создает условия для большей долговечности выполненной защиты.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. *Технический отчет по обследованию дымовой трубы Н180* S.A. "СЕТ-1" г.Кишинэу, Херсон 2010г.
- [2]. Ельшин А.М., Ижорин М.Н., Жолудов В.С., Овчаренко Е.Г. *Дымовые трубы*. Под редакцией Сатянова С.В., Москва, Стройиздат, 2001. – 296 с.
- [3]. Дужих Ф.П., Осоловский В.П., Ладыгичев М.Г. *Промышленные дымовые и вентиляционные трубы*. Под редакцией Дужих Ф.П., Москва, Теплотехник, 2004.–464 с.
- [4]. Хворенков Д.А., Варфоломеева О.И. *«К вопросу о конденсатообразовании в дымовых трубах котельных установок»* Журнал «С.О.К.» №8, 2005 г.
- [5]. Бобок Е.И., Осоловский В.П. *«Состояние ремонта и реконструкции дымовых труб ТЭС. и котельных»* Журнал «Энергетик» №5, 2011 г.
- [6]. РД 03-610-03 *«Методические указания по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб»*, Москва, ГГТН России, 2003г.



**Мустьяц Валентин**, инженер теплоэнергетик (1960), доктор технических наук (1968), доктор хабилитат технических наук (1988), профессор университета (1990), член-корреспондент АН Республики Молдова (2000).

Опубликовал около 140 научных работ, из которых 4 – монографии, учебники.

**Бутенко Надежда**, инженер теплофизик (1980), старший преподаватель Технического Университета Молдовы.

**Вареник Анна**, инженер теплоэнергетик (2010), инженер планово-технического отдела ТЭЦ-1 г.Кишинева