

УДК 624.012.45 : 624.971

А. С. ВОЛКОВ, Л. Р. ПРАВУК

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ДЫМОВЫХ ТРУБ, МЕТОДЫ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ**

В данной статье рассмотрены виды дефектов и повреждений, а также факторы, влияющие на их появление и развитие в оболочках высотных монолитных железобетонных труб. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния дымовых труб при воздействии температурного градиента, силовых факторов, повышенной влажности в агрессивной среде, а также классификация дефектов по степени их опасности и влияния на несущую способность, эксплуатационную пригодность и надежность оболочек высотных сооружений. Предложены конструктивные мероприятия по ремонту, усилению и последующей эксплуатации сооружений в зависимости от степени их поврежденности.

дымовые железобетонные трубы, дефекты и повреждения, напряженно-деформированное состояние, техническое состояние, ремонт, восстановление, надежность

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день монолитные высотные железобетонные дымовые трубы являются наиболее распространенными в энергетическом строительстве и металлургии. Их назначение – отвод газообразных отходов предприятий в атмосферу и рассеивание на большую площадь для избежания экологических последствий. Пик строительства подобных высотных сооружений на территории СНГ пришелся на 70–90-е годы прошлого столетия, что является и в настоящее время сложнейшей и интереснейшей инженерной задачей [7, 8]. Сейчас их срок эксплуатации приближается к нормативному сроку проведения капитального ремонта [1, 2, 3], а оболочки сооружений приобрели целый ряд дефектов и повреждений, полученных в период их возведения и последующей эксплуатации, зачастую без проведения своевременного мониторинга и обследований, а также текущих ремонтов, что существенно влияет на НДС сооружения, его надежность и долговечность. Именно поэтому очень важно своевременно выполнять обследование подобных сооружений с классификацией дефектов и повреждений квалифицированными специалистами с последующей разработкой комплекса мероприятий по их ремонту, усилению и последующей эксплуатации.

Оболочки дымовых труб работают в условиях сложных напряжённых состояний, при силовых воздействиях и температурного градиента. Если труба запроектирована неправильно или изменены условия ее эксплуатации, – то может произойти очень неприятная вещь: прямо в стволе трубы на определенной высоте появится зона «точки росы» и газообразные отходы начнут конденсироваться. Надо понимать, что в присутствии водяного пара, который в трубе есть всегда, соединения серы могут дать серную кислоту, и прямо в трубе пойдет «кислотный дождь». Агрессивный конденсат, стекающий по футеровке, представляет большую опасность. При сильном перепаде температуры газов внутри трубы и воздуха снаружи происходит миграция влаги: конденсат проникает внутрь железобетонного ствола и разъедает арматуру и камень. То есть при воздействии температурного градиента, силовых факторов, повышенной влажности в агрессивной среде в несущих конструкциях возможно образование системы вертикальных и горизонтальных трещин, в отслоении кирпича и бетона лещадками, образовании конденсата с выходом на наружную поверхность трубы и образовании наледей в зимнее время. Существенное влияние могут оказать ошибки при проектировании, а также некорректные допущения при расчете оболочки ствола дымовой трубы.

© А. С. Волков, Л. Р. Правук, 2016

Дефекты дымовых труб – это отклонения качества, формы и фактических размеров конструкций, их элементов и материалов от требований нормативных документов или проекта, возникающие при проектировании, изготовлении возведении или монтаже. Большое влияние на образование дефектов оказывает вид технологии изготовления (подъемно-переставная или скользящая опалубка [5, 6, 10]) и производства работ, нарушения технологии бетонирования и ухода за бетоном, что нашло отражение в работах авторов [4, 5, 6]. Дефекты подразделяются на наружные (видимые) и внутренние (скрытые) [1, 2, 3].

Видимые дефекты:

- раковины и полости на поверхности ствола в результате неправильного уплотнения бетонной смеси;
- расслоение бетонной смеси при чрезмерном вибрировании;
- участки крупнопористого бетона;
- дефектные ярусы бетонирования;
- дефектные швы бетонирования;
- усадочные трещины в результате неправильного ухода за бетоном.

Скрытые дефекты:

- несоответствие прочности бетона проектным значениям;
- несоответствие положения и количества рабочей арматуры проектным значениям.

Повреждения дымовых труб – отклонения качества, формы и фактических размеров конструкций от требований нормативных документов или проекта, возникающие при эксплуатации сооружения. Основными причинами появления повреждений является длительный срок эксплуатации подобных сооружений (более 30–40 лет) без проведения своевременных и систематических обследований и ремонтов, не предусмотренных геологических процессов, воздействие нагрузок, не предусмотренных проектом, изменение или нарушение режима работы сооружения, в том числе температурно-влажностного. Повреждения подразделяются в зависимости от причин их возникновения и степени поврежденности конструкций при эксплуатации сооружения:

- несвоевременное проведения мониторинга и ремонтов конструкций (коррозия и потеря устойчивости арматуры, сколы и разрушение защитного слоя бетона на больших по площади участках, разрушение защитных покрытий и коррозия металлоконструкций гарнитуры);
- несоответствие величин и продолжительности действий нагрузок проектным (превышение величин ветровых нагрузок и т. д.);
- изменение или нарушение режима работы сооружения (неправильный разогрев и охлаждения ствола трубы, изменение количества внутренних газоотводящих стволов);
- чрезмерные осадки и углы поворота основания трубы в результате непредвиденных геологических процессов (увеличение крена трубы и увеличения напряжений в сечениях оболочки);
- аварийные воздействия в результате выхода из строя турбоагрегатов и печей;
- повреждения от химических воздействий (разрушение внутренней футеровки и повреждения ствола трубы в виде образования трещин, отслоений бетона лещадками при воздействии агрессивной среды);
- нарушение совместной работы внутренних газоотводящих стволов и оболочки (разрушение защитных покрытий, коррозия анкерных болтов, разрушение узлов крепления тяг и подвесок) [12];
- повреждения в виде вертикальных и горизонтальных трещин при температурно-влажностных воздействиях (в результате воздействия температурного градиента и повышенной влажности) [11,12].

Категория опасности дефектов и повреждений конструкций труб устанавливается по следующим признакам [1, 2, 3]:

1. «А» – дефекты и повреждения основных несущих конструкций труб, представляющие непосредственную опасность их разрушения.
2. «Б» – дефекты и повреждения труб, не представляющие при их обнаружении непосредственной опасности разрушения несущих конструкций, но способны в дальнейшем вызвать повреждения других элементов и узлов или при развитии повреждения – перейти в категорию «А».
3. «В» – дефекты и повреждения локального характера, которые при следующем развитии не могут оказать влияние на основные несущие конструкции труб.

Для выявления, систематизации и определения степени опасности выше перечисленных типов дефектов и повреждений выполняются плановые осмотры и технические обследования, по результатам которых определяется соответствие технического состояния дымовой трубы требованиям промышленной безопасности, а также оценивается техническое состояние отдельных конструкций и сооружения в целом.

По результатам обследований принимаются решения по ремонту и восстановлению конструкций в зависимости от степени опасности повреждений [9, 11, 12], которые реализовываются в рабочем проекте на восстановление сооружения, который разрабатывается специализированной организацией:

1. Для устранения неопасных дефектов и повреждений в виде сколов, повреждений защитного слоя бетона и трещин раскрытием до 1мм используются современные полимер-цементные ремонтные смеси и клеи для инъектирования трещин.

2. Для устранения повреждений категории «А» рекомендуется следующие виды восстановления и усиления в зависимости от вида повреждений:

- восстановление элементов крепления, тяг и оттяжек внутреннего газоотводящего ствола [11, 12];
- вырубка участков дефектных ярусов и поврежденных участков ствола с восстановлением рабочей арматуры и последующим перебетонированием [9, 11, 12];
- очистка поврежденных участков от продуктов разрушения и коррозии арматуры с последующим восстановлением методом торкретирования [9];
- устройство железобетонных рубашек и обойм в местах с вертикальными трещинами (опорная часть ствола, устье трубы) [9, 11, 12];
- металлические бандажи и гильзы.

Для предохранения основных конструкций дымовой трубы и газохода от повреждений в процессе эксплуатации необходимо выполнение ряда общих и специальных требований.

К числу общих требований относятся следующие:

1. Осуществлять регулярный технический надзор за состоянием сооружения.
2. Осуществлять систематические наблюдения за креном ствола и осадками основания дымовой трубы не реже одного раза в год /15/ при стабильном температурно-влажностном режиме ее эксплуатации и преимущественно весной. Осуществлять дополнительный контроль за креном трубы в случаях аварийной остановки ее эксплуатации и последующего разогрева в зимнем периоде.
3. Во избежание неравномерных осадок основания под фундаментом дымовой трубы необходимо:
 - исключить неорганизованный отвод дождевых и талых вод вблизи дымовой трубы и газохода;
 - следить за исправным состоянием отмостки по периметру дымовой трубы;
 - следить за исправностью состояния водопроводных и канализационных систем, расположенных на расстоянии менее 100 м от фундамента трубы, не допуская на них аварий и, как следствие, размывов и увлажнения основания под фундаментом сооружения;
 - не допускать без проведения специальных защитных мероприятий работы вблизи дымовой трубы машин и механизмов, создающих ритмические колебания грунта;
4. Основным условием нормальной эксплуатации дымовой трубы и газохода является соблюдение проектного температурно-влажностного режима.
5. Капитальные ремонты конструкций ствола и газохода выполнять согласно техническим решениям, разработанным специализированными организациями по результатам осмотров и обследований сооружения.
6. Очистку днищ стакана трубы и газохода от отложений золы-уноса дымовых газов производить при каждом плановом технологическом останове печей на холодный ремонт.
7. Возобновлять окраску металлоконструкций гарнитуры дымовой трубы не реже одного раза в 3 года.
8. Следить за исправностью молниезащиты во избежание повреждений трубы от ударов молнии.
9. Обязательным условием нормальной эксплуатации дымовой трубы и газохода является своевременное выполнение ремонтных работ и строгое соблюдение правил последующей эксплуатации сооружений согласно требованиям нормативных документов.

ВЫВОДЫ

За последние 20–30 лет во всем мире было построено множество высотных железобетонных дымовых труб [4, 5] за период эксплуатации которых возникли вышеперечисленные дефекты и повреждения, в связи с чем возникают трудности с последующей их безопасной эксплуатацией. Анализ причин их возникновения, последствий их воздействия и аварийных случаев, а также способов усиления и их стоимости позволяет прийти к выводу, что надлежащий надзор за качеством выполнения работ, а также выполнение качественного мониторинга, своевременных и систематических осмотров и обследований с последующим своевременным выполнением ремонтно-восстановительных работ

позволит существенно повысить надежность эксплуатации сооружения, а также избежать выполнения дорогостоящих усиления несущих конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Введ. 2009-11-11. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 68 с.
2. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. – Введ. 2011-05-20. – М. : Минрегион России, 2011. – 341 с.
3. СП 13-101-99. Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб [Текст]. – Введ. 2000-01-01. – М. : Госстрой России, 1999. – 21 с.
4. Дымовые трубы [Текст] / А. М. Ельшин [и др.] ; Под редакцией С. В. Сатянова. – М. : Стройиздат, 2001. – 296 с.
5. Дужих, Ф. П. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы [Текст] / Ф. П. Дужих, В. П. Осоловский, М. Г. Ладыгичев. – Москва : Теплотехник, 2004. – 463 с.
6. Левин, В. М. Железобетонные башенные сооружения. Исследования, расчет [Текст] / В. М. Левин. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 230 с.
7. Корсун, В. И. Оценка эффективности применения высокопрочных бетонов для возведения дымовых труб [Текст] / В. И. Корсун, А. С. Волков // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – Вип. 2009-4(78). – С. 60–64.
8. Асташин, В. М. Методы реконструкции и ремонта дымовых труб [Текст] / В. М. Асташин, Д. А. Маликов, М. В. Мишнев // Вестник ЮУГУ. – 2012. – Вып. № 38 (297). – С. 14-18.
9. Дудочкин, И. Б. Технологии строительства дымовых промышленных труб [Текст] / И. Б. Дудочкин, Я. В. Овчинников, М. В. Кухта // Журнал технические науки – от теории к практике. – 2015. – Выпуск 2015-4(41). – С. 93–99.
10. Корсун, В. И. Опыт усиления стволов железобетонных дымовых труб / В. И. Корсун, А. Н. Машенко [Текст] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка, 2003. – Вып. 2003-2(39), Том 2. – С. 64–67.
11. Особенности повреждений и опыт ремонта железобетонных оболочек градирен высотой $H = 150$ м [Текст] / В. И. Корсун, Ю. Ю. Калмыков, А. В. Корсун, Е. А. Дмитренко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2005. – Вип. 2005-8(56) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 200–203.
12. Christie, William Wallace. Chimney design and theory: a book for engineers and architects [Текст] / William Wallace Christie. – New York : O. Van Nostrand Company, 1902. – 311 p.

Получено 09.03.2016

А. С. ВОЛКОВ, Л. Р. ПРАВУК
ДЕФЕКТИ І ПОШКОДЖЕННЯ ВИСОТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ДИМОВИХ ТРУБ, МЕТОДИ РЕМОНТУ І ПІДСИЛЕННЯ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У даній статті розглянуто види дефектів і пошкоджень, а також чинники, які впливають на їх появу та розвиток в оболонках висотних монолітних залізобетонних труб. Розглянуто особливості напружено-деформованого стану димових труб під впливом температурного градієнта, силових факторів, підвищеної вологості в агресивному середовищі, а також класифікація дефектів за ступенем їх небезпеки та впливу на несучу здатність, експлуатаційну придатність і надійність оболонок висотних споруд. Запропоновано конструктивні заходи щодо ремонту, підсилення і подальшої експлуатації споруд залежно від ступеня їх пошкодження.

димові залізобетонні труби, дефекти і пошкодження, напружено-деформований стан, технічний стан, ремонт, відновлення, надійність

ANDREI VOLKOV, LIUDMILA PRAVUK
THE DEFECTS AND DAMAGE OF HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE
CHIMNEYS, METHODS OF REPAIR AND STRENGTHENING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The types of defects and damages, as well as factors influencing their emergence and development in the shells of high-rise reinforced concrete chimneys are presented in this article. It has been considered the features of the stress strain state of chimneys when exposed to a temperature gradient, power factors, high

humidity in harsh environments, as well as the classification of defects according to their degree of danger and the impact on the bearing capacity, serviceability and reliability of the shells of tall buildings. It has been suggested the constructive measures to repair, strengthen and further exploitation structures, depending on their degree of damage.

reinforced concrete chimneys, defects and damage, stress strain state, technical condition, repair, recovery, reliability

Волков Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження міцнісних та деформативних властивостей конструкцій з модифікованих високоміцних бетонів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Правук Людмила Русланівна – студентка гр. ПЦБмб-656 Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз напружено-деформованого стану димових труб з урахуванням фактичної схеми роботи.

Волков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций их модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Правук Людмила Руслановна – студентка гр. ПГСмб-656 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: анализ напряженно-деформированного состояния дымовых труб с учетом фактической схемы работы.

Volkov Andrei – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Pravuk Liudmila – student, group PGSmb-65b, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis of stress-strain state of chimneys based on the actual circuit operation.