

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

УДК 697.85:69.058.5
МРНТИ: 67.29.59

А.В. Филатов, С.С. Кузьмичев, Ж.К. Сакенова, Е.А. Беянина

НАО Карагандинский индустриальный университет

Исследования причин обрушений монолитных железобетонных дымовых труб

В данной статье приведены описание методики обследования и оценки технического состояния дымовых труб, включая детальный состав работ при их проведении. Подробно рассмотрены причины возникновения аварийных ситуаций при ненадлежащей эксплуатации железобетонных дымовых труб, а также предложен новый метод определения остаточной прочности материалов. Приведены различные факторы, оказывающие влияние на надежность и долговечность конструкций, и выделяется необходимость регулярных обследований объектов для выявления и устранения дефектов. В статье подчеркивается важность инновационных подходов к оценке состояния и прочности материалов дымовых труб с целью повышения уровня промышленной безопасности и эффективности их эксплуатации. Кроме того, обсуждаются актуальные проблемы, связанные с воздействием различных факторов оказывающих влияние на безопасность эксплуатации дымовых труб, что подчеркивает необходимость постоянного совершенствования методов контроля и обследования данных сооружений.

Ключевые слова: дымовые трубы, обследование, дефекты, надежность, техническая диагностика, морозостойкость бетона, железобетонный ствол.

Введение

В настоящее время в Казахстане в эксплуатации находится свыше 150 монолитных железобетонных дымовых труб высотой до 250 м, большинство из которых установлено на территориях опасных производственных объектах. Многие из этих дымовых труб сооружены в период интенсивного промышленного развития страны, в 50–70-е годы и, практически выработав свой ресурс, находятся в ограниченно работоспособном либо аварийном состоянии.

Снижение промышленных тепловых нагрузок, во время спада производства приводит к непроектным режимам эксплуатации дымовых труб, появлению в них конденсата, их износ возрастает, увеличивается количество и опасность дефектов, что в свою очередь приводит к быстрому разрушению и созданию аварийных ситуаций.

По мере увеличения сроков эксплуатации дымовых труб все острее встает вопрос контроля за их техническим состоянием, проведения детального технического обследования и ремонтных мероприятий, направленных на обеспечение безотказной эксплуатации и прогнозирования её продолжительности.

В процессе эксплуатации дымовых труб на их надежность оказывают влияние многие факторы, главные из которых внутренние напряжения в конструкциях, не соответствующие проектным значениям и внешние воздействия. Для предотвращения преждевременного вывода из строя дымовых труб необходимо производить их регулярные обследования с целью выявления дефектов и их устранения. Обследования позволяют установить действительные условия работы сооружения и тем самым повысить надежность строящихся и проектируемых дымовых труб, а также своевременной корректировки норм их проектирования.

Однако, известные способы, порядок и положения обследований не обеспечивают в полном объеме достаточную надежность эксплуатируемых монолитных железобетонных труб,

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

расположенных в регионах с отрицательными температурами в зимний период времени, а также промышленную безопасность, действующих предприятий.

Основная часть

Из практики известно об аварии монолитной железобетонной дымовой трубы коксовых батарей №5 и №6 АО «QARMET» (ранее АО «АрселорМиттал Темиртау») высотой 100 м предназначенной для отвода продуктов сжигания коксового газа, построенной в 1965 г. (рис. 1).

При падении верхней части дымовой трубы были разрушены газопровод прямого коксового газа диаметром 2600 мм, галерея конвейера подачи шихты и сопутствующие трубопроводы пара, технической воды, электрокабельной продукции с последующим выгоранием коксового газа на поврежденном участке газопровода прямого коксового газа.

Техническая характеристика дымовой трубы: Высота $H=100$ м., диаметр нижней части трубы 8 м, верхней части 4 м, толщина стенки нижней части 320 мм, толщина стенки верхней части 160 мм, бетон марки 200.

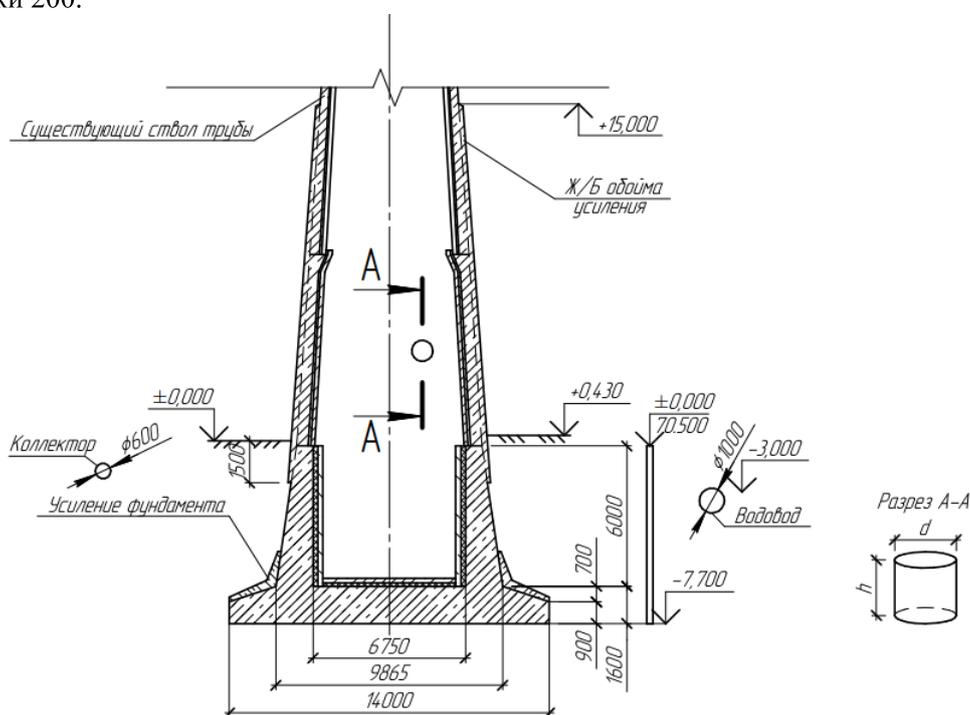


Рисунок 1 – Поперечный разрез дымовой трубы коксовых батарей №5 и №6

При падении верхней части дымовой трубы были разрушены газопровод прямого коксового газа диаметром 2600 мм, галерея конвейера подачи шихты и сопутствующие трубопроводы пара, технической воды, электрокабельной продукции с последующим выгоранием коксового газа на поврежденном участке газопровода прямого коксового газа.

Специалистами, участвующими в расследовании причин обрушения железобетонной дымовой трубы высотой $H=100$ м на отм. +15 м были сделаны выводы о возможной причине аварийной ситуации из-за постоянной утечки воды из систем водообеспечения подземных коммуникаций (водовод диаметром 1000.0 мм и ливневый коллектор диаметром 600.0 мм), расположенных на небольшом расстоянии от объекта (см. рис. 1). По этой причине была определена необходимость проведения дополнительных инженерно-геологических исследований грунтов, расположенных ниже подошвы монолитного фундамента трубы, выполненного в виде сплошной железобетонной плиты.

Первоначальные предположения о возможной причине обрушения дымовой трубы из-за снижения прочностных характеристик грунтов, расположенных под подошвой фундаментной плиты на отм. -7,7 м и ниже не подтвердились.

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

Не корректные (неправильные) выводы о причинах аварии дымовой трубы были сделаны на основании технического заключения по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации на восстановление дымовой трубы высотой 100,0 м коксовой батареи №5, 6.

По материалам проведенных дополнительных изысканий и исследований сделан вывод, что основной причиной обрушения железобетонного ствола дымовой трубы коксовых батарей №5 и №6 является снижение прочностных характеристик бетона из-за многолетнего постоянного увлажнения, замораживания и оттаивания в осенне-зимний периоды времени года, а косвенными причинами отсутствие должного контроля за основным показателем долговечности материала конструкции – морозостойкость бетона, т.к. в течении всего периода эксплуатации этот важнейший показатель не определялся.

Второе известное обрушение дымовой трубы ТЭЦ-2 в г. Петропавловск произошло 20 марта 2022 г.

Техническая характеристика монолитной железобетонной дымовой трубы: высота трубы Н=150 м., диаметр нижней части трубы 12,42 м, верхней части 7 м, стенка ствола запроектирована переменной от 160 мм по верхней части и до 750 мм в нижней, бетон ствола трубы принят марки 200 (рис. 2).

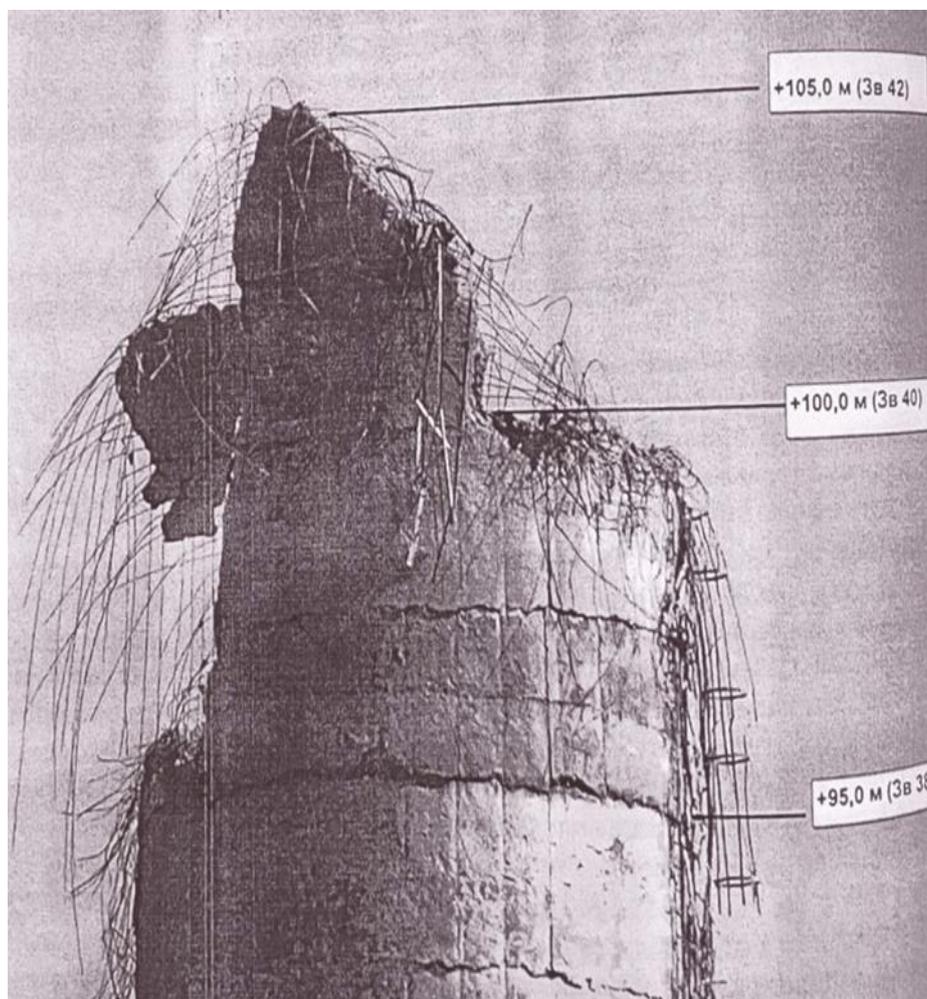


Рисунок 2 – Обрушение части дымовой трубы №1 ТЭЦ-2 АО «СЕВКАЗЭНЕРГО» в г. Петропавловске на отм. 105,0 м

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

По результатам детального технического обследования ствола железобетонной трубы, выполненного после обрушения установлено, что основными причинами возникновения аварийной ситуации дымовой трубы ТЭЦ-2 признаны:

1. Дефекты проектирования и дефекты допущенные на стадии выполнения строительных работ
2. Сверхнормативные сроки эксплуатации объекта
3. Ненадлежащая эксплуатация дымовой трубы

В 1971, 1999, 1986, 1998 и 2013 годах на указанной дымовой трубе проводились технические обследования с оценкой их технического состояния с выдачей рекомендаций по восстановлению эксплуатационной надежности дымовой трубы.

При выполнении названных технических обследований, проведенных в различное время, также как по дымовой трубе коксовых батарей №5 и №6 оставлены без внимания исследования основного показателя долговечности конструкции, обусловленный необходимой маркой морозостойкости бетона.

Этот недостаток может быть устранен путем внесения необходимых поправок в следующие документы:

1. СП РК 1.04.101-2012 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений».
2. РД 34.20.328-08 «Методика обследования дымовых труб и газоходов тепловых электростанций и котельных».

Основной задачей предотвращения аварий является разработка способа обследования монолитных железобетонных труб тепловых электростанций, работающих на твердом топливе и расположенных в районах с низкими отрицательными расчетными зимними температурами воздуха, обуславливающего обеспечение промышленной безопасности работающих предприятий, повышение надежности и долговечности эксплуатируемых монолитных железобетонных труб.

В связи с этим предлагается при проведении обследования монолитных железобетонных труб тепловых электростанций, расположенных в районах с расчетной зимней температурой наружного воздуха ниже -20°C , одним из основных показателей долговечности конструкции сооружения считать морозостойкость бетона, фактическую величину (класс, марка) которой необходимо устанавливать (определять) по предложенному способу.

Способ выполняют в следующей последовательности. После визуального обследования, а при необходимости с использованием приборов неразрушающего контроля, определяют наиболее слабые участки бетона конструкции дымовой трубы. На выбранных участках производят отбор (вырезку) цилиндрических образцов с равными размерами d и h (d -диаметр, h -высота), с последующей их механической обработкой (шлифовкой) вертикальных и горизонтальных поверхностей с целью получения строго перпендикулярных пересечений. Марка (класс) бетона отобранных и подготовленных образцов бетона по морозостойкости и прочности определяют по межгосударственному стандарту ГОСТ 10060-2012. Места (участки) отбора бетонных образцов заполняют расширяющейся цементно-песчаной смесью либо бетонной смесью.

Фактическая марка по морозостойкости (F) отобранных образцов бетона устанавливается по числу циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенного в жидкой среде. При которой потеря прочности не превышает 5%, а потеря массы не более 3% по формулам 1 и 2:

$$\Delta R_{\text{п}} = \frac{R_0 - R_{\text{п}}}{R_0} \cdot 100\%; \quad (1)$$

где: $\Delta R_{\text{п}}$ – потеря прочности, насыщенного в жидкой среде образца после i циклов замораживания и оттаивания, %;

$R_{\text{п}}$ – предел прочности (МПа) при сжатии образца после p циклов замораживания и оттаивания;

R_0 – предел прочности при сжатии (МПа) образца, насыщенного в жидкой среде, до замораживания.

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{m_0 - m_{\text{п}}}{m} \cdot 100\%; \quad (2)$$

где: $\Delta m_{\text{п}}$ – потеря массы, насыщенного в жидкой среде образца после i циклов замораживания и оттаивания, %;

$m_{\text{п}}$ – масса образца после p циклов замораживания и оттаивания, г;

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

m_0 – масса образца, насыщенного в жидкой среде, до замораживания, г.

Вывод о том, что фактические марка (класс) бетона по морозостойкости гарантируют необходимую марку (класс) бетона по прочности, а не наоборот, сделан по результатам многолетних исследований, а также практического опыта проектирования, строительства и эксплуатации промышленных и гражданских объектов с 1960 года строительной лабораторией треста «Казметаллургстрой».

Выводы

Определяющим фактором разрушения железобетонных стволов дымовых труб является периодическое замораживание и оттаивание увлажняемых монолитных железобетонных конструкций. Наиболее характерными дефектами являются отслоение защитного слоя бетона вплоть до арматуры, что приводит к уменьшению рабочего сечения, наличие горизонтальных и вертикальных трещин, раковин, шелушение бетонных поверхностей.

При проведении каждого из обследований технического состояния дымовой трубы (не реже 1 раза в 5 лет) необходимо осуществлять отбор бетонных образцов из несущего ствола, по которым определяют основной показатель долговечности – фактическую марку и класс бетона по морозостойкости, для установления изменения его прочностных и деформационных характеристик и расчета остаточного рабочего ресурса или обоснований изменения условий эксплуатации.

Предложенный способ обследования дымовых труб позволит исключить аварии и аварийные ситуации на тепловых электростанциях и других объектах промышленного и гражданского назначения, и вместе с этим значительно повысить надежность и долговечность эксплуатируемых монолитных железобетонных труб.

Список использованных источников

1 СП РК 1.04-101-2012 Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений. Издание официальное. Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан. Астана, 2015. – 180с.

2 РД 34.20.328-08 «Методика обследования дымовых труб и газоходов тепловых электростанций и котельных». https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31184999

3 Филатов А.В. Теория и практика строительства. Учебное пособие. – Алматы, 2011. – 167с.

4 Филатов А.В., Базаров Б.А. Новые технологии, материалы и конструкции в строительстве. Учебное пособие. – Караганда, 2022. – 156с.

А.В. Филатов, С.С. Кузьмичев, Ж.К. Сакенова, Е.А. Беянина

Исследования причин обрушений монолитных железобетонных дымовых труб

Бұл мақалада түтін құбырларының техникалық жағдайын зерттеу және бағалау әдістемесінің сипаттамасы, оларды жүргізу кезіндегі жұмыстардың егжей-тегжейлі құрамы келтірілген. Темірбетон түтін құбырларын дұрыс пайдаланбау кезіндегі апаттық жағдайлардың себептері егжей-тегжейлі қарастырылып, материалдардың қалдық беріктігін анықтаудың жаңа әдісі ұсынылды. Құрылымдардың сенімділігі мен беріктігіне әсер ететін әртүрлі факторлар келтірілген және ақауларды анықтау және жою үшін объектілерді үнемі зерттеу қажеттілігі ерекшеленеді. Мақалада өнеркәсіптік қауіпсіздік деңгейін және оларды пайдалану тиімділігін арттыру мақсатында түтін құбырлары материалдарының жай-күйі мен беріктігін бағалаудың инновациялық тәсілдерінің маңыздылығы атап көрсетілген. Сонымен қатар, түтін құбырларын пайдалану қауіпсіздігіне әсер ететін әртүрлі факторлардың әсеріне байланысты өзекті мәселелер

Раздел 3. «Технические науки и технологии»

талқыланады, бұл осы құрылыстарды бақылау және зерттеу әдістерін үнемі жетілдіру қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: түтін құбырлары, тексеру, ақаулар, сенімділік, техникалық диагностика, бетонның аязға төзімділігі, темірбетон бөшкесі.

Investigation of the causes of the collapse of monolithic reinforced concrete chimneys

This article describes the methods of inspection and assessment of the technical condition of chimneys, including the detailed composition of the work during their implementation. The causes of emergencies caused by improper operation of reinforced concrete chimneys are considered in detail, and a new method for determining the residual strength of materials is proposed. Various factors influencing the reliability and durability of structures are presented, and the need for regular inspections of facilities to identify and eliminate defects is highlighted. The article emphasizes the importance of innovative approaches to assessing the condition and strength of chimney materials in order to increase the level of industrial safety and efficiency of their operation. In addition, topical issues related to the impact of various factors affecting the safety of operation of chimneys are discussed, which emphasizes the need for continuous improvement of methods of monitoring and inspection of these structures.

Keywords: chimneys, inspection, defects, reliability, technical diagnostics, frost resistance of concrete, reinforced concrete trunk.

References

1. SP RK 1.04-101-2012 *Obsledovanie i ochenka tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzhenij*. Izdanie oficial'noe. Komitet po delam stroitel'stva, zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva i upravleniya zemel'nymi resursami Ministerstva nacional'noj ekonomiki Respubliki Kazahstan. Astana, 2015. – 180s.
2. RD 34.20.328-08 «Metodika obsledovaniya dymovyh trub i gazohodov teplovyh elektrostancij i kotel'nyh». https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31184999
3. Filatov A.V. *Teoriya i praktika stroitel'stva*. Uchebnoe posobie. – Almaty, 2011. – 167s.
4. Filatov A.V., Bazarov B.A. *Novye tekhnologii, materialy i konstrukcii v stroitel'stve*. Uchebnoe posobie. – Karaganda, 2022. – 156s.