

УДК 614.8.084

## **Неразрушающие способы диагностики функционирующих промышленных дымовых труб**

*Кошелева Д.Д., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научный руководитель: Акатьев В.А., профессор  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Экология и промышленная безопасность»  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

### **Введение**

Промышленные железобетонные дымовые трубы входят в состав многих непрерывных производств предприятий металлургической, нефтегазовой и энергетической отраслей, они осуществляют отвод продуктов сгорания в атмосферу и рассеивание загрязнений на значительные пространства. На крупных промышленных предприятиях эксплуатируется около 3000 железобетонных дымовых труб. Во избежание аварий каждая дымовая труба опасного производственного объекта по требованиям Ростехнадзора периодически (не реже 1 раза в 5 лет) проходит экспертизу промышленной безопасности, при которой она подвергается разрушающим и неразрушающим методам контроля. По результатам диагностического обследования оценивается техническое состояние трубы и прогнозируется ее остаточный ресурс и утверждается Заключение промышленной безопасности дымовой трубы как сооружения на опасном производственном объекте. Внеплановые обследования проводятся после стихийных бедствий (землетрясений, взрывов, пожаров, ураганов и повреждений труб). Однако имеющиеся в эксплуатации дымовые трубы имеют высокую степень износа (до 80 % и более), с чем связана их высокая аварийность. Это является основной причиной участвовавших случаев выхода дымовых труб из эксплуатации - их обрушение, разрушение футеровки и др.[1].

При аварийной остановке дымовых труб могут останавливаться непрерывные производства, вследствие которых предприятия могут понести значительные финансовые убытки. Кроме того, обрушение дымовых труб представляет угрозу для людей, зданий и других объектов, расположенных в достаточной близости [2]. Для обеспечения безопасности

функционирующих дымовых труб проводится их диагностика с использованием неразрушающих методов контроля.

### **Анализ неразрушающих способов диагностики**

В данный момент, существует много неразрушающих способов диагностики состояния функционирующего оборудования и трубопроводов. Следует проанализировать, насколько они удовлетворяют условиям диагностики дымовых труб, обладают достаточной точностью и способностью выявлять дефекты в реальном времени. В связи с этим, выполним анализ наиболее часто используемых способов, с целью выявления эффективных способов для дефектоскопии промышленных дымовых труб.

#### **1. Способ внутритрубного магнитного сканирования.**

В данном методе внутритрубной магнитной диагностики применяется магнитный способ неразрушающего контроля (НК) с использованием инспекционных снарядов. Инспекционный снаряд имеет бортовой аккумулятор и компьютер, при движении в трубопроводе он собирает информацию о толщине стенки дымовой трубы, ее геометрии, дефектах, записывает информацию, определяет координаты выявленных дефектов, обрабатывает и систематизирует полученную информацию [5].

Однако, применение магнитосканов, не всегда дает точное определение мест нахождения дефектов, так как скорость движения магнитоскана то замедляется, то ускоряется и это затрудняет привязку показаний датчиков к координатам. Кроме того, датчики могут смещаться из-за имеющихся неровностей, что также вносит неточность в показания. Также, магнитные снаряды применяются в основном для проведения диагностики тонкостенных труб, поэтому для промышленной дымовой трубы этот метод является не эффективным. Кроме того, внутри дымовой трубы имеются различные неровности, выступы, что значительно затрудняет передвижение снаряда внутри трубы. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что применение способа внутритрубного магнитного сканирования является неэффективным для промышленных дымовых труб.

#### **2. Способ ультразвуковой диагностики.**

Данный способ основан на закономерностях распространения, затухания, отражения, рассеяния, трансформации и дифракции упругих волн в твердых телах, когда используется проникающий через слой контактной жидкости способ возбуждения и приема ультразвуковых колебаний. При использовании данного способа проводится периодический пропуск внутритрубных инспекционных снарядов для определения мест с дефектами. Ультразвуковой снаряд обеспечивает контроль материалов с высокой разрешающей

способностью. Данный способ имеется одним из самых точных способов диагностики дефектов дымовых труб, однако он тоже имеет ряд недостатков. Например, он чувствителен к посторонним средам, находящимся на стенках труб, требует однофазной среды, является неэффективным в действующей промышленной дымовой трубе, так как его применение связано с требованием фиксированного положения аппарата, а также создания сложной системы двухмерного сканирования. Таким образом, из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что использование этого способа возможно только в комплексе с другими способами.

### 3. Способ термовизионного контроля поверхности дымовой трубы.

Термовизионный контроль дымовых труб основан на контроле всплесков температурного поля на внешней поверхности ствола работающей дымовой трубы и проводится с целью определения состояния дымовых труб в процессе эксплуатации, прогнозирования объема, качества ремонтно-восстановительных работ, последующего контроля. Съемка температурного поля осуществляется, как правило, с четырех точек по всей высоте трубы и по периметру с последующей цифровой записью видеоизображения. Фотосъемка выполняется и с помощью цифрового фотоаппарата или видеокамеры, по возможности с тех же точек съемки, которые первоначально намечены для термовизионного контроля. При проведении съемки фиксируются климатические параметры: температуру наружного воздуха на каждой точке наблюдения; направление и скорость ветра. С помощью данного вида диагностики можно оценить качество проведенного косметического ремонта, который при визуальном осмотре может выглядеть удовлетворительным [8]. Но есть у этого способа и существенные недостатки, например, при тепловизионной диагностике дымовой трубы одному и тому же значению изменения температуры могут соответствовать различные дефекты. Достоинствами термовизионного способа диагностики, несомненно, является возможность диагностирования состояния функционирующей трубы, обнаружение дефектов, не обнаруженных при визуальном осмотре, возможность определения дефектов в зависимости от степени их опасности для тепломеханического состояния дымовой трубы. Использование данного способа, для получения объективных и точных данных также возможно только при использовании его в комплексе с другими способами, так как в противном случае данные будут недостаточно точными.

### 4. Динамические испытания для прогнозирования остаточного ресурса дымовой трубы.

При применении динамических испытаний определяется пространственная жесткость ствола трубы и реальная сейсмостойкость дымовых труб. Этот способ основан на том, что при длительном использовании материала, появлении внутренних дефектов, нарушении

связей между конструктивными элементами труба может утрачивать свою жесткость, что приводит к изменению частоты собственных колебаний [7].

Для данного вида диагностики используются сейсмовибрационные датчики, радиосигналы от которых поступают в компьютер, который может находиться на расстоянии до 1000 метров, и классифицируются с помощью специальной компьютерной программы. Динамические испытания для прогнозирования остаточного ресурса дымовой трубы дают графическое представление колебаний ствола дымовой трубы в реальном времени. Преимуществом данного способа является мобильность используемой измерительной аппаратуры. Однако данный метод рекомендован для проведения экспертизы промышленной безопасности совместно с автономным аппаратом в системе диагностического комплекса.

5. Способ оптического контроля дымовой трубы с использованием автономного аппарата.

Для проведения данного вида исследований в настоящее время активно используется диагностический комплекс «Сканлайнер», разработанный учеными и специалистами Центра исследований экстремальных ситуаций (ООО «ЦИЭКС») и МГТУ им. Н.Э. Баумана. Данный диагностический комплекс является наиболее информативным способом контроля безопасности дымовой трубы. При данной диагностике специалисты получают информацию о техническом состоянии футеровки дымовой трубы с помощью электронной координатной привязки к самой поверхности дымовой трубы [9]. При использовании диагностического комплекса можно получить более детальную качественную информацию о дефектах футеровки, которая может сопоставляться с аналогичной информацией, полученной совместно с другими методами неразрушающего контроля (НК). Это заметно повышает качество прогнозирования технического состояния дымовой трубы [3].

Заметным преимуществом данного внутритрубного контроля является то, что обследование может проводиться на работающей трубе без ее остановки и получение информации (внутреннего изображения футеровки) в реальном временном масштабе. Однако в качестве недостатка данного способа диагностики можно отметить, что диагностический комплекс не обладает достаточной разрешающей способностью для выявления критического дефекта футеровки [4]. Таким образом, можно сделать вывод, что данный метод наиболее точно и наглядно передает состояние дымовой трубы в реальном времени. Также, этот метод является наиболее перспективным, так как есть пути для его усовершенствования. Например, увеличение разрешения изображения, для более детального исследования состояния дымовых труб. Однако в настоящее время, этот метод не может

использоваться, как индивидуальный, только в комплексе с другими способами, для получения точных данных.

### **Заключение**

Экспертизы промышленной безопасности дымовых труб проводятся с периодичностью не реже одного раза в 5 лет. При экспертизе безопасности дымовой трубы целесообразно применение комплекса методов неразрушающего контроля: термовизионного контроля наружной поверхности с применением тепловизора; контроля футеровки с использованием автономного аппарата; экспериментальных исследований по определению частот собственных колебаний трубы. По данным, полученным с использованием неразрушающих методов контроля, выявляется скорость развития дефектов в футеровке, идентифицируются дефекты согласно классификации по опасности, выполняется прогноз технического состояния трубы и принимаются меры по аварийному или плановому устранению дефектов.

Наиболее объективным является оптический способ контроля внутренней поверхности функционирующей дымовой трубы автономным аппаратом (АА) с помощью видеокамер. Данный метод наиболее точно и наглядно передает состояние дымовой трубы в реальном времени. Также, этот метод является наиболее перспективным, так как есть пути для его усовершенствования. Например, увеличение разрешения изображения, для более детального исследования состояния дымовых труб.

### **Список литературы**

- [1]. Акатьев В.А., Суцев С.П. Об оценке эксплуатационной безопасности дымовых труб с помощью мобильного аппарата // Вестник РУДН. Серия: Проблемы комплексной безопасности. 2005. № 2. С. 77–92.
- [2]. Акатьев В.А., Суцев С.П. Технология и параметры автономного аппарата для контроля футеровки функционирующей дымовой трубы // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 3. С. 32–44.
- [3]. Акатьев В.А., Александров А.А., Волкова Л.В., Суцев С.П. Способ контроля внутренней поверхности дымовой трубы и устройство для его осуществления: патент РФ 2545062. 2015. Бюл. № 9.19 с.
- [4]. Акатьев В.А., Ларионов В.И., Милютин Н.П., Суцев С.П., Дмитриев М.В. Совершенствование способов и средств внутритрубного неразрушающего контроля функционирующей дымовой трубы // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». 2012. № 1. С. 1–24.

- [5]. Акатьев В.А., Сажин Б.С., Суцев С.П., Ларионов В.И. Применение диагностических комплексов для оценки устойчивости и износа дымовых труб // Электрические станции. 2006. № 6. С. 8–14.
- [6]. Махутов Н.А. Оценки и прогнозы стратегических рисков в техногенной сфере // Аналитический журнал «Управление риском». Спец. вып. 2002. С. 59–65.
- [7]. Методические указания по обследованию дымовых и вентиляционных труб (РД 03-610-03). М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. 52 с.
- [8]. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных труб (ПБ 03-445-02). М.: ГУП НТЦ ПБ, 2002. 48 с.
- [9]. Самолинов Н.А. Использование неразрушающих методов контроля прочности конструкций при определении остаточного ресурса зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2002. № 3. С. 54.