

УДК 697.85:69.058.5

© Коллектив авторов, 2015

**Определение прочности ствола железобетонных дымовых и вентиляционных промышленных труб с использованием отбора проб бетона путем выбуривания кернов**

**С.Г. Деркач,  
И.И. Федотенкова,  
А.И. Пашечко,  
В.А. Кравчук**

**В.М. Жоров**

**Е.А. Подлесняк,  
О.А. Рудых**

эксперты ЗАО «НПО «СРЭ» и «ИТЦ «ИРТС»

эксперты ООО «СИБДИЭКС»

**Представлены результаты обследования железобетонных стволов дымовых промышленных труб, проведенных специалистами специализированных организаций.**

**Ключевые слова:** дымовые промышленные трубы, условия эксплуатации, бетон, ствол железобетонной трубы.

**Т**ехнология работ, выполняемых при экспертизе промышленной безопасности труб, определяется нормативными документами Ростехнадзора: Правилами проведения экспертизы промышленной безопасности (приказ Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538) и Методическими указаниями по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб (РД 03-610–03). В них обязательным условием при подготовке заключения экспертизы является необходимость сопровождать (подтверждать) выводы о состоянии сооружений расчетами несущей способности их конструкций, которые обеспечивают безопасность этих сооружений. Для вышеуказанных промышленных труб этими наиболее ответственными за безопасное состояние конструкциями являются железобетонные стволы.

При экспертизе промышленной безопасности дымовых труб рассчитывают нагрузку и прочность (в ряде случаев ресурс), используя параметры, фактические значения которых устанавливают при проведении обследований. Толщина стенки железобетонного ствола дымовой трубы, физико-механические характеристики бетона, наличие футеровки и теплоизоляции, трещин в бетоне, состояние швов бетонирования и теплоизоляции, коррозионный износ внутренней поверхности бетона стенки ствола, плотность ее бетона, диаметр и шаг вертикальной и горизонтальной арматуры, а также некоторые другие параметры служат исходными данными при проведении расчетов.

Фактические значения параметров железобетонной дымовой трубы наиболее точно могут быть определены только по образцам (пробам), взятым из стенки ствола железобетонной дымовой трубы.

При установлении параметров бетона, пробы которого берут из стенки ствола железобетонной дымовой трубы, специалисты руководствуются требованиями к контрольному образцу для установления прочности бетона на сжатие, изложенными в документе [1]. Пробу бетона выпиляют или выбуривают из конструкции. Выбуривание — наиболее прием-

лемый способ, его можно проводить как с наружной поверхности ствола, так и с внутренней. В результате выбуривания получается проба (керн) в виде цилиндра. Для выбуривания проб из бетонных конструкций применяют сверлильные станки ИЭ 1806 (ТУ 22-5774) с режущим инструментом в виде кольцевых алмазных сверл СКА (ТУ 2-037-624, ГОСТ 24638) или твердосплавных кольцевых (ГОСТ 11108).

Согласно документу [1] при определении прочности бетона на сжатие допускается в качестве контрольного образца цилиндр диаметром 44–150 мм и высотой 0,8–2 диаметра. Его минимальный размер должен превышать максимальный номинальный размер крупного заполнителя в 2 раза. Отклонения от плоскостей опорных поверхностей контрольного образца, прилегающих к плитам пресса, при испытаниях на сжатие не должны превышать 0,1 мм, при этом отклонение диаметра цилиндра образца от номинального не должно превышать  $\pm 4\%$ . В то же время при возведении монолитных железобетонных труб используют щебень (заполнитель), крупность которого не превышает 70 мм при толщине стенки ствола 600 мм и более и 40 мм при толщине стенки ствола менее 600 мм [2].

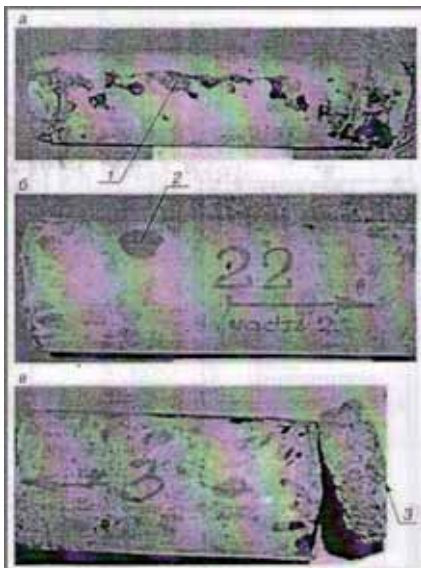
С учетом изложенных ограничений на размеры контрольного образца и крупность фракций бетона в качестве контрольного образца может быть использован цилиндр диаметром от 80 до 140 мм. При выбуривании пробы бетона из стенки железобетонного ствола инструментом диаметр контрольного образца согласно документу [1] можно принять равным диаметру пробы и таким образом рекомендации для назначения диаметра контрольного образца распространить на диаметр пробы.

На контрольном образце диаметром  $d$  по показаниям силоизмерителя испытательной машины определяют разрушающую нагрузку  $F$  при сжатии. Прочность бетона на сжатие контрольного образца находят по формуле

$$R_{\text{обр}} = 4F/(\pi d^2) \quad (1)$$

По результатам исследования устанавливают: длину цилиндра пробы; дефекты структуры бетона (рис. 1, а) — трещины, отслоения, поры, раковины и др.; тип и диаметр арматурных стержней (рис. 1, б). На основании данных, полученных при исследовании контрольного образца, определяют его среднюю плотность. Измерив длину цилиндра пробы, устанавливают толщину стенки железобетонного ствола дымовой трубы в рассматриваемом сечении. Кроме этого определяют коррозионное повреждение (при его наличии) внутренней поверхности стенки железобетонного ствола (рис. 1, в), а на месте отбора пробы через образовавшееся отверстие — толщину теплоизоляции (при ее наличии) и зазор между футеровкой и стенкой железобетонного ствола.

В настоящее время специалисты при отборе проб бетона из стенки железобетонного ствола используют твердосплавные кольцевые сверла диаметром 95 мм. После того как установлены требования к пробе бетона необходимо решить, чем руководствоваться при определении числа проб и места их выбуривания. Назначение числа проб бетона — задача веро-



**Рис. 1.** Пробы бетона из стенки железобетонного ствола: 1 — дефекты бетонирования; 2 — арматурный стержень у внутренней поверхности стенки; 3 — коррозионное повреждение внутренней поверхности стенки ствола

ятностная и оптимизации не подлежит, поэтому основой здесь должно быть разумное соотношение цены и достоверности.

Места отбора проб бетона следует назначать после визуального осмотра конструкций в зависимости от их напряженного состояния и с учетом минимально возможного снижения их несущей способности [1]. Кроме этого анализируют прочностные свойства, полученные неразрушающими методами контроля, и выявляют места с прочностью бетона меньше проектных значений. Здесь следует отметить, что все неразрушающие методы контроля прочности бетона на сжатие основаны на замере параметров, которые косвенно, на основе эмпирических зависимостей, устанавливают прочностную характеристику бетона. С помощью этих методов находят поверхностную прочность бетона. В основу определения прочности бетона на сжатие (призменной прочности бетона) положен метод разрушения контрольного образца конкретного размера (базовый образец). Конечно, результаты разрушения контрольного образца круглого поперечного сечения требуют пересчета к базовому образцу, но этот способ позволяет получить прочностную характеристику бетона, которую можно распространить на всю толщину стенки ствола.

Как правило, через 2–2,5 м на стволе монолитных железобетонных дымовых труб имеется горизонтальный шов бетонирования. Участок трубы между двумя соседними швами — секция бетонирования. Таким образом, на стволе находятся  $(n - 1)$  секций бетонирования, где  $n$  — число швов бетонирования. Для бетонирования каждой следующей секции после того, как бетон наберет необходимую прочность, переставляют опалубку. В пределах каждой секции бетонирование проводят за один прием и свойства бетона, как правило, однородны. Отличие свойств бетона при экспертизе устанавливают в различных секциях, так как если имеются отступления, то они присущи отдельной секции бетонирования. Поэтому каждая секция бетонирования требует контроля.

При проведении экспертизы промышленной безопасности монолитных железобетонных дымовых труб наши специалисты предлагают мето-



дику определения мест выбуривания проб бетона, основанную на исследовании прочности бетона в зоне наибольших сжимающих напряжений, а также на контроле прочности бетона в каждой секции бетонирования.

Нагрузки и напряженно-деформированное состояние железобетонного ствола дымовой трубы рассчитывают согласно документу [3].

Напряжение в бетоне от весовой и ветровой нагрузок  $\sigma_6$  можно определить по аппроксимирующей формуле [4]

$$\sigma_6 = n_6 \bar{\sigma}_6, \quad (2)$$

где  $n_6 = N/(2rh_{\text{ств}})$ ,

здесь  $N$  — осевая сжимающая сила от весовой нагрузки;

$r = (r_{\text{н}} + r_{\text{вн}})/2$  — средний радиус ствола;

$r_{\text{н}}, r_{\text{вн}}$  — радиусы наружной и внутренней поверхности ствола соответственно;

$h_{\text{ств}}$  — толщина стенки ствола;

$$\bar{\sigma}_6 = \frac{0,292 \cdot 0,567^{\alpha_1} \cdot 2,25^{C_0}}{\alpha_1^{0,117C_0}} \quad \text{при } C_0 > 0,4 \quad \text{и} \quad \bar{\sigma}_6 = \frac{1 + C_0}{\pi(1 + \alpha_1)} \quad \text{при}$$

$$C_0 \leq 0,4; \quad \alpha_1 = 4\mu_1 \frac{E_s \beta_s}{E_6 \beta_6}; \quad \mu_1 = \frac{A_s}{bh_{\text{ств}}},$$

здесь  $E_s$  — модуль упругости арматуры;  $\beta_s, \beta_6$  — коэффициенты, учитывающие влияние температуры на модуль упругости арматуры и бетона соответственно;  $E_6$  — начальный модуль упругости бетона;  $A_s$  — площадь поперечного сечения всей вертикальной арматуры в расчетном сечении при его ширине  $b = 100$  см;

$C_0 = M/(Nr)$  — безразмерный параметр для участка ствола;

$M$  — изгибающий момент от ветровой нагрузки.

Изгибающий момент  $M$ , Н·м, от ветрового потока в стволе дымовой трубы можно определить по аппроксимирующей формуле, приведенной в работе [5]:

$$M = 4/9 \chi \text{КД} W_0 Z_k^{2,25} (1 + 0,8 \bar{Z}^{2,25} - 1,8 \bar{Z}), \quad (3)$$

где  $\chi = 1,4$  — коэффициент, учитывающий увеличение изгибающего момента от крена и искривления ствола под нагрузкой;

$K = 1$  при высоте дымовой трубы  $H < 150$  м,  $K = 1,08$  при  $150 \text{ м} < H < 300$  м,  $K = 1,15$  при  $H > 300$  м;  $\bar{D} = D + 0,3(D_0 - D)$ , м,

здесь  $D$  — наружный диаметр ствола на расстоянии  $Z$  от поверхности земли в месте определения изгибающего момента;

$D_0$  — наружный диаметр ствола на расстоянии  $Z_k$  от поверхности земли;

$W_0$  — нормативное значение ветрового давления для соответствующего ветрового района;

$Z_k$  — расстояние от поверхности земли до верхнего торца ствола дымовой трубы, м;  $\bar{Z} = Z / Z_k$ .

В зависимости от ветрового района  $W_0$ , кПа(кгс/м<sup>2</sup>), составляет [3]:

I	0,17 (17)	V	0,48 (48)
II	0,23 (23)	VI	0,60 (60)
III	0,30 (30)	VII	0,73 (73)
IV	0,38 (38)	VIII	0,85 (85)

На основе расчетов устанавливают наиболее нагруженный участок ствола дымовой трубы. Его высоту  $H_{\text{нагр}}$  определяют из условия, что сжимающие напряжения на этом участке более 0,9 максимального значения напряжения в бетоне ствола трубы  $\delta_{\text{бмакс}}$ , устанавливаемого по эпюре сжимающих напряжений. На рис. 2 этот участок находится между отм. 70 и 136 м.

В каждой секции бетонирования намечают одно сечение, в котором определяют место отбора пробы бетона, при этом каждое последующее место отбора пробы в следующей секции расположено под углом 120° по отношению к предыдущему (рис. 3). На участке с наибольшими сжимающими напряжениями в бетоне ствола в каждом сечении устанавливают дополнительные два места отбора пробы, расположенные под углом 120° друг к другу, а также по три места отбора проб бетона в трех швах бетонирования и в трех консолях, на которые опирается футеровка.

На пробе бетона несмываемой краской наносят номер согласно схеме отбора проб бетона и указывают ее ориентацию по отношению к фундаменту дымовой трубы. На схеме отмечают дату отбора пробы бетона и расстояние от поверхности бетона до футеровки.

При извлечении из рабочего органа бурильной машины пробу бетона сохраняют полностью, не допускают удаления с ее поверхности каких-либо частиц материала; хранят и транспортируют только в горизонтальном положении.

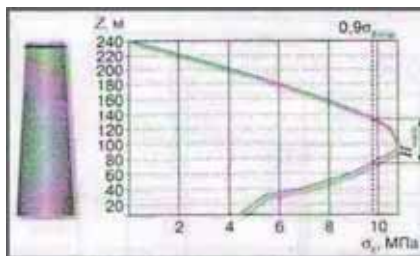


Рис. 2. Эпюра напряжений сжатия в бетоне ствола дымовой трубы

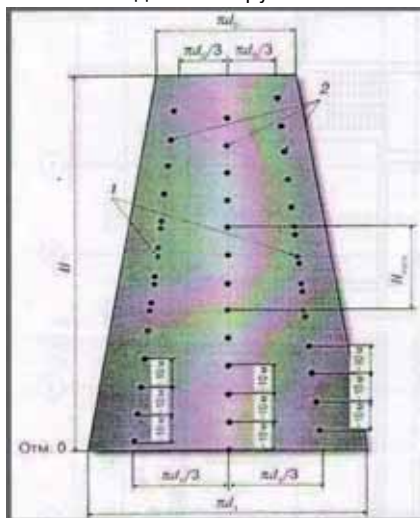


Рис. 3. Схема мест отбора проб бетона на развертке наружной поверхности ствола трубы: 1 — дополнительные места отбора кернов; 2 — места отбора кернов



Главный критерий прочности бетона ствола железобетонной дымовой трубы [5] — неравенство

$$\sigma \leq [R]. \quad (4)$$

Оно соответствует непревышению сжимающим напряжением  $\sigma$  в бетоне ствола его предельного значения  $[R]$ .

Для приведения прочности бетона на сжатие  $R_{обр}$ , полученной при испытаниях контрольного образца, к прочности бетона на сжатие  $R$  образца базового размера и формы (за базовый во всех испытаниях принимают образец с размером рабочего сечения  $150 \times 150$  мм [1]) используют формулу  $R = R_{обр} \alpha \eta_1$ , где  $\alpha$  — масштабный коэффициент, учитывающий форму и размеры контрольного образца (для цилиндрического образца диаметром 95 мм  $\alpha = 1$ );  $\eta_1$  — коэффициент, учитывающий отношение длины цилиндра к его диаметру.

Чтобы определить призмную прочность, выполнены следующие преобразования.

Если в качестве базового образца принят куб, то нормативная кубиковая прочность бетона вычисляется по формуле  $R_n = 0,778R$ , а призмная прочность на сжатие —  $R_b = 0,72R_n$  (приведены в работе [6]). Тогда  $R_b = 0,54R$ . Следует отметить, что призмную прочность бетона можно найти по формуле  $R_b = (0,5 \div 0,7) R_{обр}$ , при этом для отношения длины цилиндра к его диаметру  $h/d$ , находящегося в диапазоне 0,85—2, призмную прочность можно вычислить по формуле  $R_b = 0,54(h/d)0,28 R_{обр}$ .

Призмная прочность бетона при сжатии в значительной степени зависит от отношения высоты образца  $h$  к стороне основания  $d$ . Так, при уменьшении  $h/d$  значение призмной прочности возрастает, при увеличении  $h/d$  значение призмной прочности уменьшается; при  $h/d > 4$  значение призмной прочности почти не изменяется, поэтому стандартные призмы бетона изготавливают обычно с отношением  $h/d = 4$ . Не всегда удастся иметь пробу бетона с таким отношением, поэтому экспериментальный график зависимости призмной прочности от отношения  $h/d$  аппроксимирован формулой  $(h/d)0,28$ , где  $R_{обр} = 4F/(\pi d^2)$  — напряжение в контрольном образце при его разрушении сжимающей силой  $F$ .

### Выводы

На основе лабораторных исследований пробы бетона ствола можно получить фактические значения следующих параметров: толщина стенки ствола; допустимое напряжение сжатия бетона в стенке ствола; марка и толщина теплоизоляции; коррозионный износ внутренней поверхности бетона стенки ствола; плотность бетона; диаметр арматуры; коррозионное повреждение арматуры.

Проведение отбора проб бетона из ствола трубы возможно почти из любого места без снижения его несущей способности.

Для вычисления призмной прочности бетона  $R_b$  ствола трубы получена формула  $R_b = 0,54(h/d)^{0,28} R_{обр}$ .

Учитывая актуальность проблемы по установлению фактической несущей способности ствола железобетонной дымовой трубы при экспертизе

промышленной безопасности, материалы статьи могут быть учтены при разработке нормативных документов.

### Список литературы

1. *ГОСТ 28570–90*. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкции. — М.: Стандартинформ, 2005. — 11 с.
2. *Дымовые трубы* /А.М. Ельшин, М.Н. Ижорин, В.С. Жолудев, Е.Г. Овчаренко. — М.: Стройиздат, 2002.
3. *ВСН 286–90*. Указания по расчету железобетонных дымовых труб. — М.: ммСС СССР, 1990.
4. *Расчет несущей способности и определение ресурса производственных зданий и сооружений при проведении экспертизы промышленной безопасности*/ С.В. Сатьянов, В.С. Котельников, С.Л. Рябцев. П.Б. Пилипенко, В.А. Французов. — М.: «Универсум», 2009. — С. 260–261.
5. *Критерий безопасной эксплуатации железобетонных дымовых труб*/ В.Г. Сатьянов, П.Б. Пилипенко, В.А. Французов, С.В. Сатьянов// Монтажные и специальные работы в строительстве. — 2001. — № 10. — С. 23–31.
6. *Мандриков А.П.* Примеры расчета железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1979. — 419 с.

irts@bk.ru

Материал поступил в редакцию 2 ноября 2015 г.

УДК 69.059.22

© Коллектив авторов, 2015

### Методы диагностики повреждений

**В.Ф. Катренко,**  
инженер

**К.Б. Ктитров,**  
нач. лаборатории

**Л.М. Мельников,**  
нач. отдела

**А.И. Келеберда,**  
инженер-эксперт

**В.Б. Кузнецов,**  
эксперт

ООО «Контакт»

**Определение технического состояния конструкций и выявление причин возникновения повреждений при визуальном и инструментальном обследовании.**

**Ключевые слова:** визуальное обследование, инструментальное обследование, дефект, повреждение, нагрузки.

**Д**иагностика повреждений предназначена для установления признаков, характеризующих состояние строительных конструкций сооружений для определения возможных отклонений и предотвращения нарушений нормального режима их эксплуатации.

Основные цели диагностики — определение технического состояния конструкций и всего сооружения и выявление причин возникновения повреждений.

Диагностика осуществляется путем проведения натурных обследований сооружения с исследованием физико-механических свойств материалов и грунтов оснований, а также с применением аналитических и в ряде