

**Список литературы**

1. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов*: федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г.: в действующей редакции от 13 июля 2015 г. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. — 56 с.
2. *Технический регламент о безопасности зданий и сооружений*: федер. закон от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 23 дек. 2009 г.: одобрен советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 дек. 2009 г.// Рос. газ. — 2009. — № 5079. — 31 дек.
3. *Правила проведения экспертизы промышленной безопасности*: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 14 нояб. 2013 г. № 538// Рос. газ. — 2013. — № 6272. — 31 дек.
4. *Сатьянов С.В., Котельников В.С., Рябцев С.Л., Пилипенко П.Б., Французов В.А.* Расчет несущей способности и определение ресурса производственных зданий и сооружений при проведении экспертизы промышленной безопасности. — М.: Универсум, 2009. — 624 с.

aaarostov@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 13 октября 2015 г.

УДК 69.059.22

© Коллектив авторов, 2015

**Повреждения сооружений от динамических нагрузок**

**Л.М. Мельников,**  
нач. отдела

**А.И. Келеберда,**  
инженер-эксперт

**К.Б. Ктитров,**  
нач. лаборатории

**В.Б. Кузнецов**  
эксперт

**В.Ф. Катренко,**  
инженер

ООО «Контакт»

**Описана характеристика воздействия колебаний на людей и сооружения при динамических нагрузках.**

**Ключевые слова:** вибрация, амплитуда колебаний, период, трещины, разрушения.

**Д**инамические нагрузки возникают при ударах или равномерных и неравномерных колебаниях (вибрациях). Их вызывают землетрясения, взрывы, работающее на перекрытиях или вблизи здания оборудование, строительные механизмы, движение транспорта и др.

Повреждения от динамических нагрузок в конструкциях возникают в виде трещин и разрушений, деформаций, препятствующих нормальной эксплуатации сооружения.

Работа многих машин, применяемых в промышленности, связана с развитием динамических сил, вызывающих вибрацию несущих конструкций, что усложняет эксплуатацию сооружений. Осложнения эти связаны не только с опасностью разрушения конструкции от вибраций. Часто, не вызывая опасных напряжений в материале, вибрации все же являются недопустимыми, так как они нарушают нормальный процесс производства.

О колебаниях судят по их характеристикам (рис. 1): амплитуде  $a$ , мм; периоду  $T$ , с; частоте  $n = 1/T$ , 1/с (Гц); амплитуде скорости  $v = 2\pi na$ , мм/с; амплитуде ускорения  $w = 4\pi^2 n^2 a$ , мм/с.

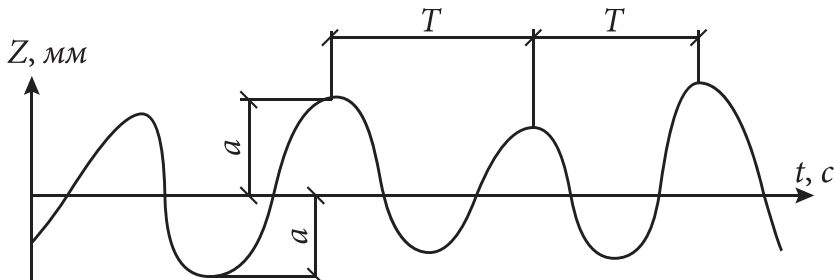
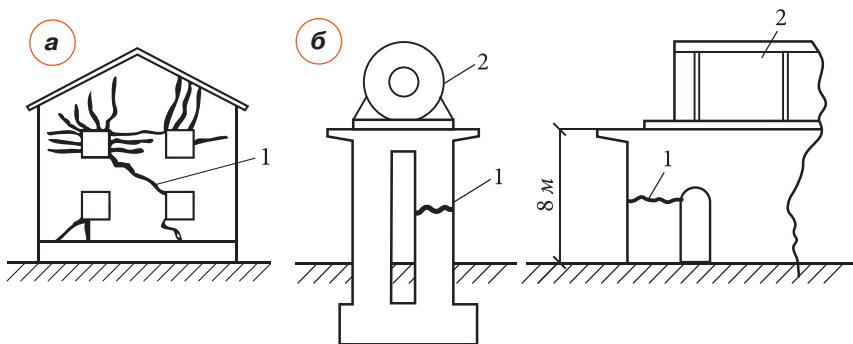


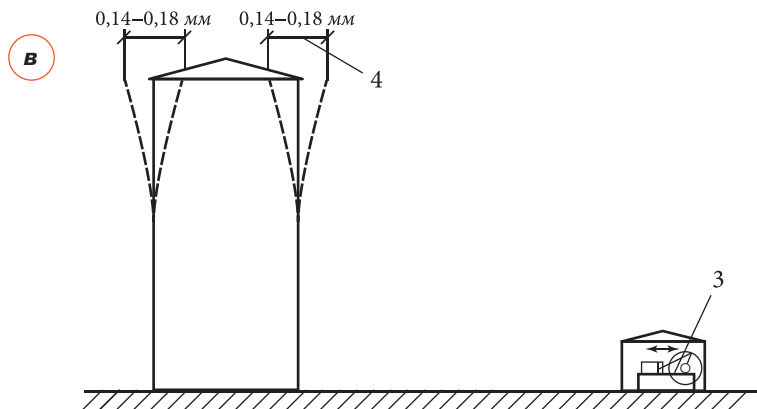
Рис. 1. График записи колебаний конструкций

Разрушения от динамических нагрузок довольно редки. Разрушению наиболее часто подвергаются кирпичные стены от сотрясений, так как кладка обладает малой прочностью на растяжение и сдвиг. На рис. 2, а показано разрушение кирпичной кладки двухэтажного здания, вызванное работой копров вблизи здания при строительстве. При этом трещины в кирпичных стенах имели хаотичный характер.

На рис. 2, б показано образование трещины в железобетонном фундаменте турбины. Вибрация фундамента с амплитудой 0,05–0,06 мм вследствие большой жесткости его элементов (стенки) оказалась разрушительной для конструкции. В одном из сечений стенки фундамента, где имел место перерыв в бетонировании, образовалась сквозная трещина, раскрывавшаяся и закрывавшаяся при каждом обороте машины (3000 раз в минуту) с размахом 0,02 мм.

Вибрации пятиэтажного жилого дома (рис. 2, в), вызывавшиеся работой компрессора, расположенного на расстоянии 200 м от здания, так действовали на самочувствие жильцов, что они опасались разрушения дома и требовали остановки компрессора. Между тем амплитуды колебаний в верхней части здания составляли лишь 0,07–0,09 мм.





**Рис. 2.** Повреждения при динамических нагрузках: а — повреждение кирпичной кладки стен двухэтажного здания от работы копра; б — разрушение фундамента под турбогенератор от вибрации (раскрытие трещины при вибрации 0,015 мм); в — вибрация пятиэтажного жилого дома от работы компрессора; 1 — трещина; 2 — турбогенератор; 3 — компрессор; 4 — размах колебаний

Наибольшую опасность для прочности конструкций представляет разрушение их от усталости материала.

Проверку прочности конструкции на действие вибрационных нагрузок можно оценить, используя результаты расчета конструкций на прочность при статических расчетах по формуле

$$N \leq \gamma [N],$$

где  $N$  — усилие в конструкции от нагрузок;

$[N]$  — несущая способность конструкции;

$\gamma$  — поправочный коэффициент, учитывающий работу материала на повторную нагрузку:

$$\gamma = \frac{1}{(\mu a_a + a_{cp}) / 2 - (\mu a_a + a_{cp}) N_{\min} / 2N_{\max}},$$

но не более 1;

$N_{\min}, N_{\max}$  — минимальное и максимальное значение усилий, возникающих в сечении, соответственно;

$a_a, a_{cp}$  — коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства материалов;

$\mu$  — коэффициент, характеризующий тип конструкции при ее работе на динамическую нагрузку.

Значения коэффициентов  $a_a, a_{cp}$  и  $\mu$  приведены в табл. 1.

Многочисленные обследования колебаний эксплуатируемых сооружений, а также расчеты на прочность строительных конструкций при колебаниях показали, что в большинстве случаев необходимость уменьшения



уровня колебаний конструкций определяется физиологическим воздействием колебаний на людей или производственными условиями работы оборудования.

Характеристики воздействий колебаний на людей в зависимости от скорости и ускорения гармонических перемещений с амплитудой не более 1 мм приведены в табл. 2.

**Таблица 1**

Материал и тип конструкции	$a_{cp}$	$a_a$	$\mu$
<b>Стальные конструкции (ВСтЗ):</b>			
цельные элементы постоянного сечения	0,5	1,5	1
сварные соединения встык	0,5	1,5	1,4
сварные соединения внахлестку при:	0,5	1,5	1,1
лобовых швах	0,5	1,5	2,2
фланговых швах	0,5	1,5	3,4
<b>Железобетонные конструкции:</b>			
при проверке прочности по бетону	1	3	1
при проверке прочности по арматуре	0,6	3,7	1
<b>Деревянные конструкции:</b>			
элементы сплошного сечения без ослабления	0,7	2,5	1
при ослаблении сечения по всей его высоте в плоскости изгиба	0,7	2,5	1,4

В случае если к колебаниям промышленного сооружения не предъявляются требования, определяемые санитарными нормами или технологическими условиями производства, то помимо ограничений колебаний по несущей способности должны предъявляться требования ограничения динамического прогиба.

**Таблица 2**

Характеристики воздействия на людей	Частоты от 1 до 10 кол/с	Частоты от 10 до 100 кол/с
	Предельное ускорение колебаний, мм/с <sup>2</sup>	Предельная скорость колебаний, мм/с
Не ощутимы	10	0,16
Слабо ощутимы	40	0,64
Хорошо ощутимы	125	2
Сильно ощутимы (мешают)	400	6,4
Вредны при длительном воздействии	1000	16
Безусловно вредны	Более 1000	Более 16

Это требование основывается на необходимости обеспечения достаточной жесткости сооружения.

В табл. 3 приведены данные по ограничению колебаний строительных конструкций предельно допустимым динамическим прогибом\*.

Таблица 3

Частота, Гц	Амплитуда, мм	Частота, Гц	Амплитуда, мм
1	10	10	0,1
2	2,5	15	0,067
3	1,111	20	0,05
4	0,626	25	0,04
5	0,4	50	0,2
6	0,278	75	0,013
7	0,156	100	0,01

Недопустимым также считается, когда в конструкциях могут проявляться явления резонанса при совпадении частоты колебания конструкции с частотой собственных колебаний. Обычно это явление устраняется за счет изменения частоты собственных колебаний конструкции при ее усилении.

aaarostov@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 13 октября 2015 г.

УДК 697.85

© Коллектив авторов, 2015

## Дымовые и вентиляционные промышленные трубы.

### История и проблемы

А.И. Пашечко,

И.И. Федотенкова

С.Г. Деркач,

В.В. Сидорович

В.А. Кравчук,

С.В. Кузнецов

эксперты ЗАО «НПО «СРЭ» и ЗАО «ИТЦ «ИРТС»

Приведены особенности, конструкция и применение дымовых труб, представлены историческая справка и описание самых высоких дымовых труб.

**Ключевые слова:** дымовые трубы, инженерные сооружения, промышленность.

**К**аждая промышленная дымовая труба является сложным инженерным сооружением, связанным с потенциально повышенной опасностью при эксплуатации, обслуживании и ремонте.

\* Справочник проектировщика. Динамический расчет зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1984. — 302 с.