

### АЛГОРИТМЫ АНТИСЕЙСМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В работе [1] рассмотрены общие подходы к оценке сейсмической стойкости строительных объектов. Основное внимание здесь уделено анализу расчетной схемы объекта сейсмического воздействия. При этом подчеркивается, что при землетрясениях изменяется качественный характер нагрузок, а именно, к полезной нагрузке (в основном, вертикального направления) присоединяется паразитная нагрузка горизонтального направления, которая решительно изменит расчетную схему [2]. Что касается паразитных нагрузок вертикального направления, то их опасность для зданий существенно меньше, чем нагрузок горизонтального направления.

Во-первых, они по направлению совпадают с нагрузками, которые как полезные нагрузки обязательно учтены (с определенным запасом) при проектировании. Во-вторых, вертикальные нагрузки уступают горизонтальным как по величине, так и по площади распространения.

Наиболее опасными горизонтальные нагрузки будут для высоких зданий и сооружений, например, башен, труб, небоскребов. Для этих объектов есть и положительные моменты. Это то, что при расчете их на полезную нагрузку учитывается и ветровая нагрузка, которая по качественным параметрам воздействия близка к сейсмической нагрузке (по направлению она горизонтальна, по высоте распределена равномерно). В подавляющем большинстве случаев такое же распределение характерно для инерционных (сейсмических) нагрузок.

Некоторые из конструктивных решений, которые отработаны вне учета сейсмических воздействий, могут пригодиться для повышения сейсмостойкости [3].

В работе [1] для случая оценки сейсмостойкости сооружений, изготовленных из хрупких строительных материалов, рекомендуется критерий недопущения растягивающих напряжений [4].

$$\sigma_{\Sigma} \leq 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\Sigma}$  - суммарные напряжения в опасном сечении (от полезной нагрузки в виде собственного веса и инерционной нагрузки сейсмического происхождения).

На рис.1 показаны схема нагружения здания внешними нагрузками и эпюры нормальных сил и изгибающих моментов для рассматриваемого здания, которое в первом приближении представлено в виде сжато-изогнутого стержня,

где  $q_n$  - распределенная полезная нагрузка;

$q_{ин}$  - инерционная сейсмическая нагрузка.

На рис.2 показано опасное поперечное сечение (на уровне фундамента) и эпюры нормальных напряжений в этом сечении.

Из возможных направлений изгиба (заранее неизвестных) выбрано наиболее опасное, при котором поворот сечения происходит относительно оси у;

$$\text{При этом} \quad W_y = W_{\min}. \quad (2)$$

Максимальные напряжения на эпюрах (рис.2) составляют

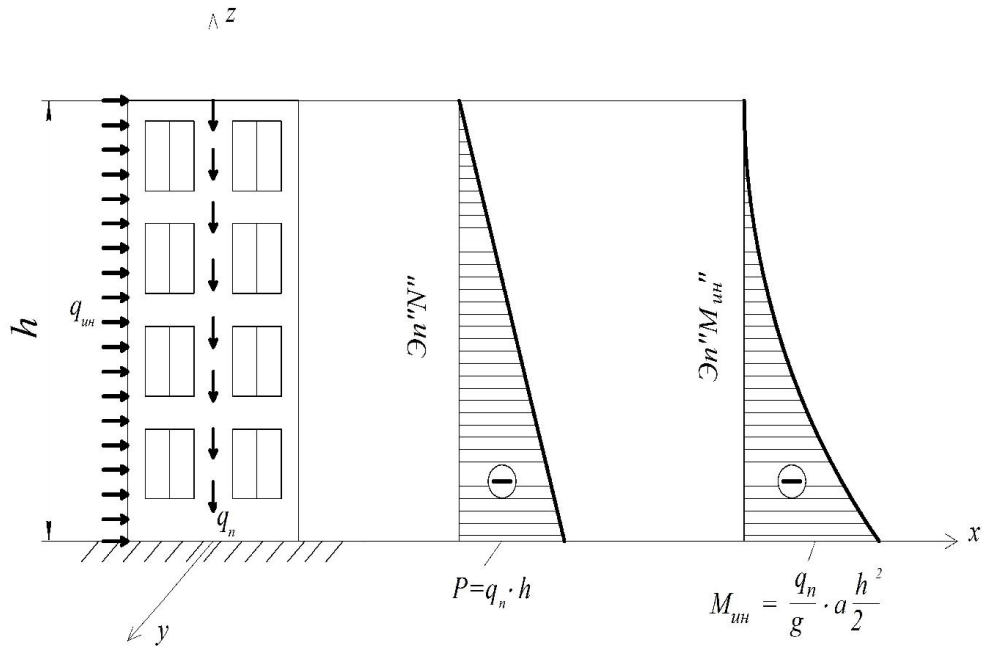
$$\sigma_p = \frac{q_n \cdot h}{F} = \frac{P}{F}, \quad (3)$$

где  $\sigma_p$  - напряжение от полезной нагрузки Р;

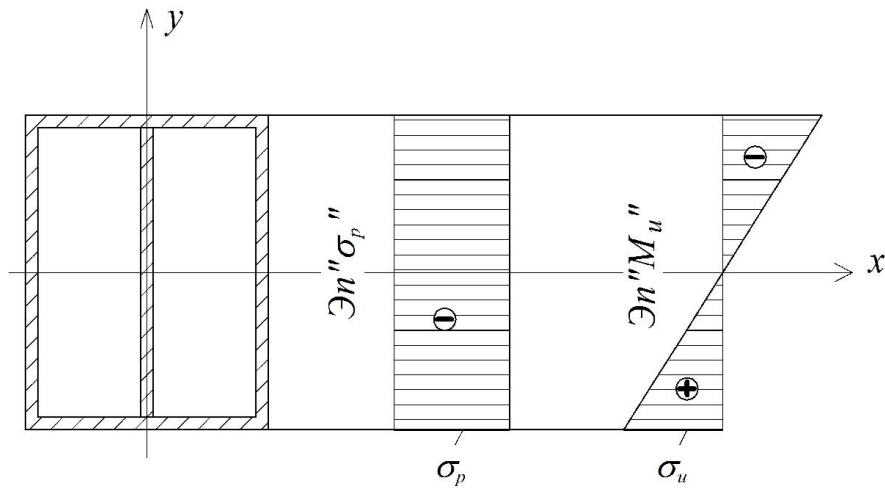
Р – вес здания;

$q_n$  – распределённая по высоте здания полезная нагрузка;

$h$  – высота здания;  
 $F$  – площадь основания здания, контактирующая с фундаментом.



**Рис.1.** Схема нагружения здания и эпюры нормальных сил и изгибающих моментов



**Рис.2.** Эпюры нормальных напряжений в опасном сечении

$$\sigma_{ин} = \frac{M_{ин}}{W_{min}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{ин}$  - нормальное напряжение в опасном сечении, вызванное инерционной нагрузкой;

$M_{ин}$  - максимальный изгибающий момент от инерционной нагрузки;

$W_{min}$  - минимальный момент сопротивления опасного сечения.

С учётом

$$M_{min} = \frac{q_n}{g} \cdot a \cdot \frac{h^2}{2} \quad (5)$$

и 
$$q_n = \frac{P}{h} \quad (6)$$

получим из выражения (4)

$$\sigma_{ин} = \frac{P \cdot a \cdot h}{g \cdot 2W_{\min}}. \quad (7)$$

Условие недопущения появления растягивающих напряжений запишется в виде:

$$\sigma_{ин} = \sigma_p. \quad (8)$$

Имеется в виду, что изгиб приводит к напряжениям как сжимающим, так и растягивающим. Суммирование этих напряжений с напряжениями сжатия от полезной нагрузки даёт эпюру  $\sigma_{\Sigma}$ , у которой нейтральная линия совпадает с краем сечения.

Подставляя в выражение (8) значение напряжения из выражений (3) и (7), получим:

$$\frac{P \cdot a \cdot h}{2g \cdot W_{\min}} \leq \frac{P}{F}. \quad (9)$$

Из этого уравнения допустимое удельное ускорение сейсмического воздействия при известных размерах сооружения из хрупких материалов (без применения каких-либо упрочняющих технологий)

$$\left[ \frac{a}{g} \right] \leq \frac{2W_{\min}}{F \cdot h}. \quad (10)$$

Можно, исключив  $g$ , найти абсолютную величину допускаемого ускорения, а также при заданном значении районированного допускаемого ускорения найти максимальную допускаемую величину высоты здания.

Решение такой задачи будет полезным для случая сооружения труб и вышек из кирпича и бетона.

Решение это будет приближенным, так как оно не учитывает вариантов упрочнения сооружений путем армирования или путем применения других способов упрочнения, например, предварительного нагружения.

В то же время, критерий обладает универсальностью и простотой. Он допускает варианты уточнения расчетных схем путём введения различного вида опор (в том числе упругих, которые могут влиять на величины генерируемых нагрузок).

Рассмотрим один из примеров применения данного критерия. Пусть для данной местности известна величина допускаемого ускорения  $[a]$ . Интересующее нас сооружение представляет собой кирпичную дымовую трубу, для которой требуется найти допускаемую высоту  $[h]$ .

Пусть поперечные размеры трубы составляют:  $D=10\text{м}$ ;  $d=8\text{м}$ .

$$\text{В этом случае } F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4}(10^2 - 8^2) = 28,26\text{м}^2;$$

$$W_{\min} = \frac{\pi D^3}{16}(1 - c^4),$$

$$\text{где } c = \frac{d}{D} = 0,8.$$

Пусть  $[a] = 1 \text{ м/с}^2$ , тогда после вычисления получаем

$$W_{\min} = \frac{3,14 \cdot 10^3}{16} (1 - 0,8^4) \approx 116 \text{ м}^3.$$

Из формулы (10) получим

$$h \leq \frac{2W_{\min} \cdot g}{F \cdot a} = \frac{2 \cdot 116 \cdot 9,81}{28,26 \cdot 1,0} = 82 \text{ м}.$$

Результат может оказаться неточным. Скорее, он занижен. Уточнение может быть получено за счет изменения геометрии, например, отношения  $\frac{W_{\min}}{F}$ .

Допускаемая высота [h] пропорциональна этой величине. Линейная зависимость упрощает задачу оптимального проектирования антисейсмических сооружений.

Так, очевидно, что отношение  $\frac{W_{\min}}{F}$  может быть введено как параметр оптимальности формы опасного поперечного сечения здания.

Поскольку величина F неинформативна в отношении формы сечения, то исследовать надо величину  $W_{\min}$ . Чем больше эта величина (при неизменной площади F), тем выше сейсмостойкость здания.

Этим объясняется оптимальность таких сечений, как круг, квадрат и т.д. Это сечения, у которых все оси являются главными, то есть все моменты инерции равны:

$$I_{\min} = I_{\max}; \quad W_{\min} = W_{\max}.$$

Пустотелость таких сечений улучшает их рациональность.

На основе соотношения прочности при сжатии и изгибе может быть предложен коэффициент рациональности сечения здания. Этот коэффициент должен быть безразмерным и должен иметь ограничения. Ограничения будут связаны с местной потерей устойчивости тонкостенных конструкций.

## ВЫВОДЫ

Антисейсмические нагрузки качественно меняют характер нагружения зданий и сооружений, добавляя к исходной нагрузке инерционную нагрузку горизонтального направления. Опасным сечением рассматриваемого сооружения является сечение крепления его к фундаменту. Исходя из условий недопущения появления растягивающих напряжений в этом сечении, можно найти допускаемую высоту здания.

### *Перечень ссылок*

1. *Артюх Г.В.* Основы антисейсмических решений / *Г.В. Артюх, Т.Н. Годун* // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2011. – Вип. 13. – С. 180-182.
2. *Артюх Г.В.* Функциональная прочность машин / *Г.В. Артюх, В.Г. Артюх* // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2005. – Вип. 8. – С. 61-66.
3. *Артюх Г.В.* Инженерные проблемы прочности металлургических машин / *Г.В. Артюх, В.Г. Артюх* // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2003. – Вип. 7. – С. 85-95.
4. *Артюх Г.В.* Амортизация загрузок в металлургических машинах / *Г.В. Артюх* // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 1999. – Вип. 4. – С. 160-165.

Рецензент: д.т.н., проф. В.П. Королёв

*Статья поступила 17.12.2012.*