

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПРИ ПАСПОРТИЗАЦИИ БЕСКАРКАСНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Кукунаев В.С., *д.т.н., с.н.с.*,
Лобанов О.Л., Голобородько Т.О. *инж.*

ГП «Институт «КрымНИИпроект»

Сейсмостойкими зданиями или сооружениями принято [1] называть такие, которые удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям нормативных документов, действующих на данный момент времени. Таким образом, в течении срока службы в силу различных причин сейсмостойкость как характеристика сопротивляемости сооружения сейсмическим воздействиям может изменяться.

Среди имеющихся в нормативных документах общих требований таких как, например, здание или сооружение, должно быть простой формы в плане и симметричным [2,3], имеются и такие, которые выражаются количественными показателями. Например, высота здания ограничивается в зависимости от расчетной сейсмичности площадки строительства, грунтов и вида конструктивной системы. При этом, максимально допустимая высота здания определяется количеством надземных этажей.

Кроме этого имеются требования, которые к задаче обеспечения сейсмостойкости имеют косвенное отношение, а в большей степени к безопасности проживания (обеспечения освещенности дневным светом лестничных клеток и организация выхода из них на обе стороны жилого дома).

Основное содержание. При паспортизации зданий, которая обычно проводится в весьма сжатые сроки, требуется дать ответ приближенными методами, хотя бы для большей части жилой застройки. В работе [4] были даны предложения по использованию упрощенной методики определения сейсмостойкости. Рассматривая понятие сейсмостойкости в более узком смысле этого слова, выделим из общего количества требований отдельную группу требований, которые должны отвечать за общую устойчивость здания и иметь количественные ограничения, соблюдение которых обязательно.

Каждое из таких требований можно выразить следующим образом:

$$k_i = 1 + \xi_i, \quad \xi_i = p_i / \bar{p}_i, \quad (1)$$

где: i - порядковый номер параметра; p_i - фактическое значение параметра, например, количества надземных этажей, длины здания и выступов в плане здания, расстояния между несущими стенами и др.;

\bar{p}_i - значения аналогичных параметров, превышение которых не рекомендуется нормами. Кроме этого:

а) при $p_i \leq \bar{p}_i$ должно быть выполнено условие

$$\xi_i \leq 1; \quad (2)$$

б) при $p_i > \bar{p}_i$ - соответственно

$$\xi_i > 1. \quad (3)$$

Оценку сейсмостойкости в [4] при проведении паспортизации бескаркасных зданий рекомендуется представить в виде:

$$0 > \prod_{i=1}^n k_i > 1 + \varphi, \quad (4)$$

где k_i - относительные значения коэффициентов соответствующих групп требований; φ - прогнозный коэффициент "запаса ресурса несущей способности".

Основные требования, рассматриваемые в условии (4), можно представить в виде 7 групп ограничений:

а) высоты и длины здания

$$k_1 = 1 - \frac{h - \bar{h}}{\bar{h}}, \quad k_2 = 1 - \frac{l - \bar{l}}{\bar{l}}, \quad (5)$$

где h, l - высота и длина здания; \bar{h}, \bar{l} - то же, согласно нормам.

Принимая $\beta = h/\bar{h}$ или $\beta = l/\bar{l}$, выражения (5) можно представить в виде

$$k_{1(2)} = 2 - \beta; \quad (5a)$$

б) учета монолитности диска перекрытия и наличия антисейсмических поясов

$$k_3 = \beta = D/\bar{D}, \quad \text{где:}$$

D - характеристика жесткости перекрытия в своей плоскости;

D - то же, для монолитного перекрытия:

$$k_3 = \begin{cases} 1 - \frac{e_x/l - \bar{e}_x}{e_x} \\ 0,75 - \frac{e_y/b - \bar{e}_y}{e_y} \\ 0,15 - \frac{\sigma_n - \sigma_n}{\sigma_n} \\ 0,1 - \frac{\sigma_n - \sigma_n}{\sigma_n} \end{cases}$$

в) учета симметрии формы плана здания

$$k_4 = 1 - \frac{e_x/l - \bar{e}_x}{e_x} = 2 - \beta_x$$

$$k_5 = 1 - \frac{e_y/b - \bar{e}_y}{e_y} = 2 - \beta_y$$
(6)

где: l, b - длина и ширина здания; \bar{e}_x, \bar{e}_y - минимальное значение нормируемой величины относительного эксцентриситета приложения сейсмической нагрузки;

$$\beta_x = e_x / (l \cdot \bar{e}_x), \quad \beta_y = e_y / (b \cdot \bar{e}_y); \quad (6a)$$

г) учета влияния шага и геометрических размеров стен

$$k_6 = 1 - (l_s - \bar{l}_s) / \bar{l}_s, \quad k_7 = 1 + (b_s - \bar{b}_s) / \bar{b}_s, \quad k_8 = 1 + (B - \bar{B}) / \bar{B} > 0, \quad (7)$$

где $k_i (i = 6, 7, 8)$ - коэффициенты учета влияния на сейсмостойкость максимальных пролетов, минимальных размеров простенков и их прочности; l_s - максимальный пролет; b_s, B - среднее значение размеров и прочности простенков. Принимая $\beta_6 = l_s / \bar{l}_s$, а также $\beta_7 = b_s / \bar{b}_s$ или $\beta_8 = B / \bar{B}$, выражение (7) можно аналогично представить в следующем виде

$$k_6 = 2 - \beta_6, \quad k_7 = \beta_7, \quad k_8 = \beta_8; \quad (7a)$$

д) учета монолитности каменной кладки

$$k_9 = 1 + \frac{\sigma_n - \sigma_n}{\sigma_n} = \beta_9, \quad \beta_9 = \sigma_n / \sigma_n,$$

где: σ_n - значение нормального сцепления по неперевязанным швам;

σ_n - то же, согласно действующим нормам;
 е) учета регулярности конструктивной системы
 - коэффициент учёта влияния выступов в плане

$$k_{10} = 1 - \left(\frac{b_v - \bar{b}_v}{\bar{b}_v} - \beta_\Delta \right). \quad (8)$$

где: b_v, \bar{b}_v - фактические и нормативные размеры уступа;

При $\beta_{10} = b_n / \bar{b}_n$ выражение (8) будет иметь вид

$$k_{10} = 2 - (\beta_{10} - \beta_\Delta), \quad (8a)$$

а также при соблюдении условия $(b_n - \bar{b}_n) / \bar{b}_n \leq \beta_\Delta$. В действующих нормах принимается, что $\beta \leq \beta_\Delta = 0,3$, где β_Δ - принимаемая по нормам относительная величина превышения геометрического размера (в среднем) уступов, образующих в плане здания так называемые «входящие углы».

- коэффициент учёта перепадов высот уступа

$$k_{11} = \begin{cases} 0 & \text{при } |h_1 - h_2| > 5 \\ 1 & \text{иначе} \end{cases}, \quad (9)$$

где: h_1, h_2 - минимальные и максимальные отметки на перекрытиях уступа;

ж) соответствия принятой расчетной сейсмичности требованиям нормативных документов

$$k_{12} = \begin{cases} 0 & \text{при } (I - I) \geq 1 \\ 1 & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

где I - нормативная и I - сейсмичность, принятая в проекте.

Рассмотрим теперь в целях апробации предлагаемой методики 5-ти этажный жилой дом в микрорайоне «Марат-5» г.Керчи.

Здание 6 этажное прямоугольной формы в плане с подвалом с несущими продольными стенами из крупноблочной кладки двухрядной разрезки. Материал стен – пильный известняк с прочностью на сжатие М50 (без пазов торцевых вертикальных граней). Категория кладки по сейсмическим свойствам – 3. Перекрытие - сборное из многопустотных железобетонных плит толщиной 220 мм без арматурных выпусков и заливки швов вдоль длинной стороны панелей. Опираение плит перекрытий – на продольные несущие стены.

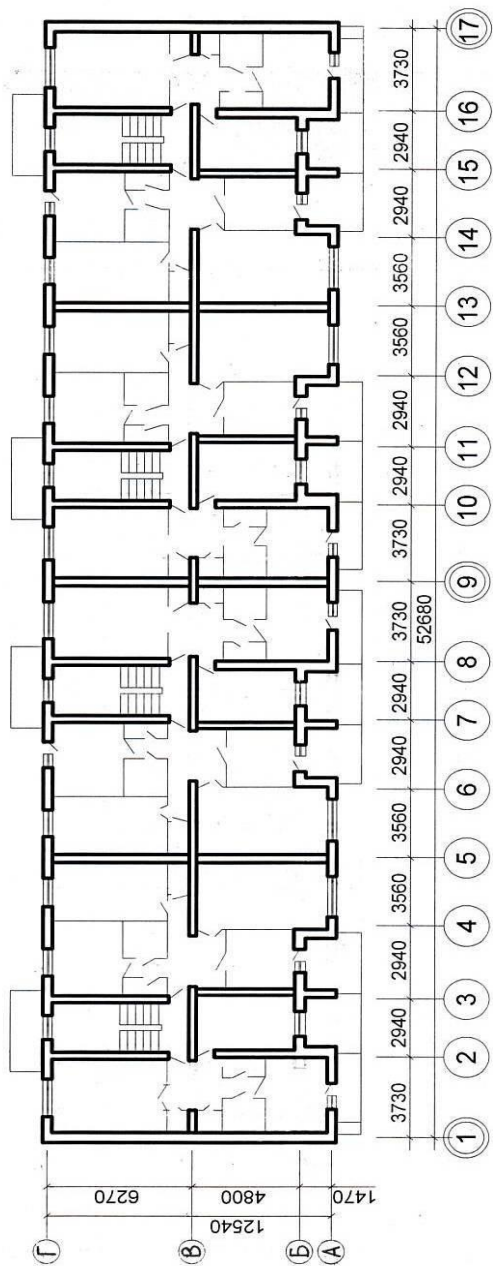


Рис. 1 Схема расположения продольных и поперечных стен.

Конструктивная схема – бескаркасная, с переменным шагом продольных стен: 1,5; 4,8; 6,3 и поперечных стен, с основными шагами 3,0 и 3,6 м. Общая длина здания (в осях) составляет в продольном направлении – 52,68 и в поперечном направлении – 12,54м. Нагрузка на перекрытия типовых этажей принята равной: постоянная - 4,4 кН, квазипостоянная – 1,4 кН, кратковременная - 1,2 кН. На покрытии - 3,9 и 0,7кН. Кроме этого, рассматриваемое здание было построено до перевода строительного комплекса Керченского полуострова на сейсмостойкое строительство и в связи с этим характеризуется сейсмостойкостью не выше 6 баллов по шкале МСК-64. Действующие в настоящее время нормы Украины требуют для данного здания обеспечение сейсмостойкости, соответствующей 8 баллам. При анализе сейсмостойкости такого здания (по проектным материалам), в целях проведения его паспортизации, воспользуемся основными положениями приведенной выше методики. Так, для указанных групп требований значения коэффициентов $k_i (i = 1 \div 12)$ будут выглядеть следующим образом:

$$k = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 & k_4 & k_5 & k_6 & k_7 & k_8 & k_9 & k_{10} & k_{11} & k_{12} \\ 0,8 & 1,13 & 0,1 & 2 & 1,38 & 1,19 & 1,22 & 1,43 & 0,5 & 1,21 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

откуда их произведения $\prod_{i=1}^{12} k_i = 0$ и $\prod_{i=1}^{11} k_i = 0,22$. Если проанализировать

коэффициенты, которые $k_i < 1$, то таких коэффициентов всего 4, из которых три – соответствуют нарушению требований по обеспечению сейсмостойкости конструктивной системы и последний - сейсмичности площадки строительства. Как видно из сопоставления обоих произведений, последний коэффициент является решающим, приводящий к неудовлетворительной оценке сейсмостойкости здания. При условии снижения высоты здания на 1 этаж, ужесточения перекрытия до уровня монолитного, а также приведения сцепления до требуемого уровня 2-е произведение может быть больше 1.

Кроме предварительной оценки была проведена расчетная проверка несущей способности основных конструкций здания. При этом был использован ПМК «Радон-С», предназначенный для расчета бескаркасных каменных и каркасно-каменных зданий на статические и сейсмические нагрузки [5]. При анализе результатов расчета принималось во внимание, что здание не является высокоэтажным и может быть разрушено от действия поперечных сил и главных растягивающих напряжений. Поэтому для анализа были приняты поперечные силы в

стенах $[Q]^{ixn}$ и коэффициенты запаса в поперечных стенах $[K_y]^{ixn}$, где i - порядковый номер этажа ($i = 0..5$);
 n - количество стен.

Считая, что коэффициент запаса определяется отношением несущей способности к величине усилия, получим несущую способность в виде

$$[R] = [K_y]^{ixn} [Q]. \quad (11)$$

Согласно [6] при выполнении расчета надежности строительных конструкций основным показателем является вероятность отказа $P_f(T_{ef})$, то есть вероятность того, что за установленное время возникнет отказ заданного вида:

$$P_f(T_{ef}) = Prob\{g(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) < 0 / T_{ef}\}, \quad (12)$$

где символ $Prob(A/T)$ обозначает вероятность реализации события A в течении времени T , а также:

$g(*)$ – такая функция (работоспособности) от параметров системы, для которой $g(*) < 0$ означает достижение предельного состояния; T_{el} - установленный срок эксплуатации; $\tilde{x}_i (i = 1..n)$ - параметры, характеризующие случайные величины общим количеством « n ».

При использовании в расчетах нормального распределения вероятности работоспособности (g) последняя (Φ) может быть определена как

$$\Phi(z) = 0,5\pi^{-1} \int_{-\infty}^z \exp[-u^2 / 2] du, \quad (13)$$

называемая *интегралом вероятности* [6].

Из [7, 8] известно, что напряженное состояние, определяемое при помощи детерминированных методов характеризуется некоторой степенью точности, т.е. математическая модель всегда представляет собой идеализацию работы сооружения и приводит к получению приближенного решения. Если по расчету получено завышенное значение размеров конструкции, то принятая величина риска приводит к удорожанию конструкции. Наоборот, если увеличить риск и принять уменьшенное значение расчетных усилий, то решение будет более экономичным. Имеющее место на практике принятие решения о завышении усилий не гарантирует конструкцию от обрушения, в связи со случайным воздей-

ствием внешних нагрузок. Таким образом, величину риска необходимо тщательно обосновывать. Принимая теоретические предпосылки для оценки риска, следует иметь в виду, что они также содержат элементы риска. К ним относятся: 1) риск, связанный с возможностью наступления ожидаемых событий или появления неожиданных событий; 2) риск, возникающий от возможного изменения системы предварительных оценок, и 3) риск, связанный с надежностью информации, на которой основана предварительная оценка. Таким образом, теоретические предпосылки или исходные данные должны быть особенно тщательно обоснованы в соответствии с принятым подходом к вычислению риска.

В рекомендациях [8] принимается, что обобщенная внешняя нагрузка S по отношению к конструкции и обобщенное сопротивление R являются случайными величинами и подчиняются нормальному закону распределения. При этом предельное состояние может характеризоваться условием $\tilde{R} - \tilde{S} < 0$. При этом случайная величина $\tilde{m} = \tilde{R} - \tilde{S}$ может рассматриваться как область, характеризующая риск, соответствующий рассматриваемой задаче.

Величинам \tilde{R} , \tilde{S} и \tilde{m} соответствуют стандартные отклонения σ_R , σ_S и σ_m , связанные между собой соотношениями:

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}, \quad \sigma_R = \delta_R \tilde{R}, \quad \sigma_S = \delta_S \tilde{S}. \quad (14)$$

Выражение для интеграла вероятностей в [6] представлено в виде

$$\Phi(u) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{-\infty}^u e^{-0,5u^2} du, \quad \text{где } u = \frac{-m}{\sigma_m}, \quad (15)$$

значения которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$
-3,29	$5 \cdot 10^{-4}$	-1,28	0,1	0	0,5	1,96	0,9750
-3,09	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,84	0,2	0,25	0,6	2,33	0,9900
-2,58	$5 \cdot 10^{-3}$	-0,52	0,3	0,52	0,7	2,58	0,9950
-2,33	$1 \cdot 10^{-2}$	-0,25	0,4	0,84	0,8	3,09	0,9990
-1,96	$2,5 \cdot 10^{-2}$	-		1,28	0,9	3,29	0,9995
-1,65	$5 \cdot 10^{-2}$	-		1,64	0,95		

Из табл. 1 следует, что $\Phi(0) = 0,5$, то есть при $\tilde{R} = \tilde{S}$ или другими словами, при отсутствии «запаса прочности» событие является не-

определённым. При использовании приведенных выражений для оценки усилий и несущей способности поперечных стен рассматриваемого жилого дома полученные значения величины риска указаны в табл.2.

Таблица 2

Значения риска в поперечных стенах

<i>Номера осей в поперечных стенах</i>												
1	2	3	4	5	7	8	8	9	10	15	16	17
0,056	0,0232	0,06	0,06	0,773	0,0232	0,0232	0,06	0,33	0,06	0,0232	0,056	0,77

Из табл. 2 следует, что в среднем риск в поперечных стенах составляет 0,178. При этом в стенах по осям 5 и 13 значения по отношению к среднему значению превышает более, чем в 4 раза, а в стене по оси 9 – в 1,8 раза. В продольных стенах риск гораздо меньше, чем поперечных стенах. Однако в обоих случаях риск является неприемлемым [9].

Как видно из приведенных выражений все описанные параметры, которые могут характеризовать принятые проектные и строительные решения с точки зрения их соответствия требованиям норм, представлены в форме, аналогичной выражению (1).

Выводы

1. Предварительное определение сейсмостойкости бескаркасных зданий предложено выполнять при помощи экспресс-методики в случаях проведения массовой паспортизации в сжатые сроки.

2. Основное содержание экспресс-методики заключается в определении произведения линейных одночленов относительно параметров, характеризующих соблюдение требований норм по выполнению антисейсмических конструктивных решений.

3. Проведён сопоставительный анализ результатов использования экспресс-методики и машинного расчёта здания при помощи ПМК «РАДОН-С», разработанной по предложениям проф. Полякова С.В.

4. Предлагаемая методика может быть принята для дальнейшего накопления данных и совершенствования и рекомендуется для использования в паспортизации малоэтажных зданий со стенами из местных строительных материалов.

SUMMARY

In this article the technique of determination of seismic stability of frameless buildings of mass building is offered.

Литература

1. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий / Учеб. пособие для студ. инж. строит. вузов. М.: "Выш. школа", 1969, 336 с.
2. Кириков Б.А. Древнейшие и новейшие сейсмостойкие конструкции. - М.: Наука, 1990. - 72 с.
3. Кукунаев В.С. Регламентация использования существующих конструкций в сейсмостойком строительстве// Межвідомчий науково-технічний збірник "Будівельні конструкції". - вип.60. - К.: НДБК, 2004.
4. Кукунаев В.С., Лобанов О.Л. Об одном подходе к определению сейсмостойкости при паспортизации зданий: - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2013. – вип. 51. – с.157-166.
5. Разработка программы расчета крупноблочных зданий из пильного известняка на сейсмические воздействия. Кукунаев В.С., Риковская Т.А. // Отчет о НИР.- Симферополь: ГНИПИ «КрымНИИпроект», 1990.- 150с.
6. ДБН В.1.2-14:2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований.- К.: Минрегионстрой Укоаины, 2009.- 36с.
7. Ржаницин А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
8. Синицин А.П. Расчёт конструкций на основе теории риска. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с., ил.
9. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций. – К.: Издательство УкрНИИпроектстальконструкция, 2000. – 216 с.