

ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЖЕСТКИХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ СЛОЖНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ

Здание сложной макроструктуры — это здание, состоящее из двух или более корпусов, объединенных перемычками или связями.

Одной из целей использования зданий сложной макроструктуры (ЗСМ) является повышение их горизонтальной жесткости и комфортности при колебаниях от действия ветровых нагрузок.

Как известно, крестовые связи и регулярная связевая решетка наделяют здание высокой жесткостью при ветровом воздействии и, как следствие, повышают собственные частоты и инерционные силы при сейсмическом воздействии. Жесткие здания становятся уязвимыми при сейсмических воздействиях.

Разрешить это противоречие можно введением в ЗСМ внутренних упругопластических связей (УПС), которые при ветровых воздействиях работают упруго. При достижении усилиями в связях усилий срабатывания УПС снижают горизонтальную жесткость здания, делают его податливым и уменьшают инерционные силы.

Рассмотрим ЗСМ, состоящее из двух башен, связанных распорками и крестовыми связями (рис. 1, 2). Жесткость и сейсмостойкость здания из плоскости работы связей обеспечивается большим размером поперечного сечения башен в этом направлении. Как известно, низшая форма колебаний составного стержня связана с большими усилиями в раскосах нижних ярусов, играющих роль связей сдвига между башнями. Поэтому упругопластические связи должны быть введены именно в эти элементы.

Возможен вариант, когда упругопластической связью является весь раскос, работающий только на растяжение и выключающийся при работе на сжатие. В этом случае раскос выполняется в виде металлической полосы, ослабленной отверстиями специальной формы.

Эффективный метод расчета таких систем реализован в программном комплексе MicroFE.

Рассмотрим ЗСМ, изображенные на рисунках 1 и 2. Это двухбашенные ЗСМ высотой 160 м (40 этажей). Габариты башен — 16х54 м, расстояние между башнями — 24 м. Здания объединены ферменной системой двух (рис. 1) или пяти (рис. 2) крестовых связей. Расчетная бальность района по шкале Рихтера принята 6 баллов. Расчет по спектральной теории дает усилие срабатывания в первом уровне, равное 4 000 кН. Сечение металлических связей — 200 кв. см.

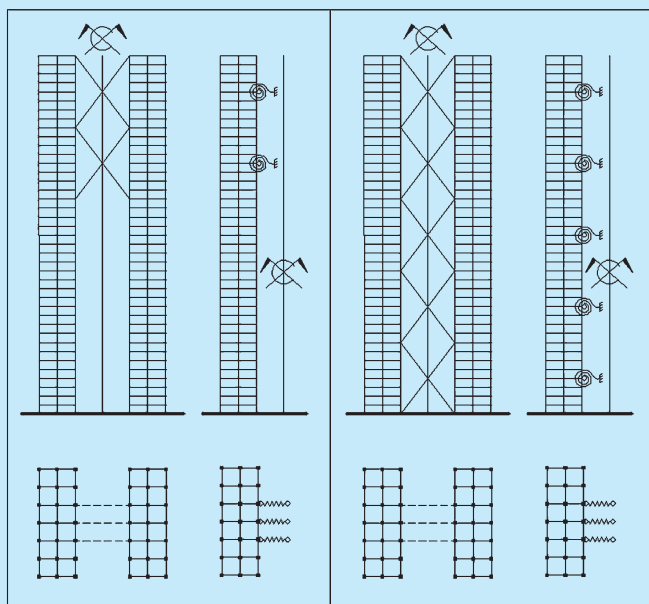


Рис. 1. Здание с перемычкой

Рис. 2. Здание со связями

Табл. 1. Ускорения, скорости и перемещения с двумя УПС

Параметры системы/тип здания	без связей	УПС	УПС	УПС
Жестк. $\times 10^6$, усл. вкл. $\times 10^2$ (кН)	—	20,2	10,1	5,5
Ускорения a , (м/с ²)	0,27	0,41	0,33	0,27
Скорость v , (м/с)	0,32	0,22	0,28	0,32
Перемещение f , (м)	0,25	0,12	0,21	0,25

Табл. 2. Ускорения, скорости и перемещения здания с пятью УПС

Параметры системы/тип здания	без связей	УПС	УПС	УПС	УПС
Жестк. $\times 10^6$, усл. вкл. $\times 10^2$ (кН)	—	$2 \div 12 \times 10^7$	$1 \div 610^7$	$3 \div 6 \times 10^6$	$1 \div 18 \times 10^6$
Ускорения a , (м/с ²)	0,48	0,61	0,61	0,52	0,48
Скорость v , (м/с)	0,27	0,21	0,17	0,32	0,27
Перемещение f , (м)	0,22	0,14	0,15	0,24	0,22

В версии 2006 г. программного комплекса MicroFE реализован сейсмический расчет сооружений по акселерограммам при условии, что упругопластические связи являются внешними. Поэтому, с учетом кривой симметрии задачи, перейдем к рассмотрению отдельной башни, где раскосы заменяются внешними моментными связями, приложенными в середине высоты панелей (рис. 1, 2).

Путем несложных преобразований получим, что жесткость моментной связи R_z при наклоне связей 45° равна $R_z = 8 EF$,

где: E — модуль упругости стали, F — площадь поперечного сечения диагональной связи.

При этом площадь поперечного сечения равна $F = N_{cp} / R_y$,

где: N_{cp} — усилие срабатывания раскоса, т. е. такое усилие в каждой конкретной диагонали, при котором она переходит в пластическую стадию своей работы, R_y — предел текучести стали.

Тогда момент срабатывания эквивалентной моментной связи равен $M_{cp} = 8 N_{cp}$.

Аналогично можно найти остальные эквивалентные жесткости моментных связей.

Произведено два расчета: здание с одиночным ригелем-перемычкой (рис. 1) и здание со связевой треугольной решеткой, регулярной по высоте (рис. 2). Двойная перекрестная связь, установленная в зоне 2/3 высоты здания, при варьировании жесткости показала зону снижения ускорений до величин отдельно стоящего здания при определенном подборе величин жесткости и усилия включения УПС. Подбор жесткостей показал возможность выключения связей и работу УПС как пластических при усилиях срабатывания 500 кН·м (таб. 1). При этом удастся снизить ускорения с 0,41 м/с² до 0,27 м/с², равному ускорению свободностоящего здания.

Параллельно рассмотрена система, соединенная решеткой шести крестовых связей, распределенных по всей высоте. При действии кососимметричной сейсмической нагрузки крестовые связи описаны 5-ю моментными связями. Подбор усилия срабатывания и жесткостей, по расчету по спектральной теории, показал переменные усилия, убывающие аналогично значениям поперечных сил в составном стержне.

Подбор жесткостей показал возможность выключения связей и работу УПС как пластических при усилиях срабатывания 100 — 600 кН·м (таб. 2). При этом удастся снизить ускорения с 0,61 м/с² до 0,48 м/с², равному ускорению свободностоящего здания.

Проведенный анализ показывает, что применение упругопластических связей позволяет снизить ускорения колебаний высотного здания сложной макроструктуры при сейсмическом воздействии, а значит снизить сейсмические силы и усилия в элементах башен. ●

А. А. СМЕРНОВ, аспирант СПб ГАСУ