

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Т. А. ГОРОЯН

О ВЛИЯНИИ НЕРАВЕНСТВА ПОЭТАЖНЫХ МАСС НА ПЕРИОДЫ
 И ФОРМЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ
 ЗДАНИЙ

Определение периодов и форм свободных колебаний многоэтажных зданий сопряжено со значительными трудностями, связанными с вычислением определителей высшего порядка и решением алгебраических уравнений со многими неизвестными. С целью преодоления этих трудностей ранее нами [1] были даны упрощенные рекомендации, позволяющие с достаточной для практических целей точностью определять периоды и формы колебаний. При этом принималось, что массы, сосредоточенные на уровнях перекрытий всех этажей, равны, жесткости всех этажей одинаковы, а перекрытия играют роль жестких дисков.

Согласно этим рекомендациям, период r -ой формы свободных колебаний системы с n -ю степенями свободы определяется по формуле:

$$T_r = 2\pi(A_r + B_r/n) \sqrt{\frac{m}{a}} \quad (1)$$

где m — поэтажная масса; a — жесткость этажа — сила, вызывающая единичное горизонтальное перемещение этажа; A_r и B_r — постоянные, зависящие от формы колебаний (их значения даны в табл. 1).

Таблица 1

Форма колебания	A_r	B_r
I форма	0,367	0,643
II форма	0,160	0,210
III форма	1,118	0,126

Однако на практике, в случае плоской кровли, масса, сосредоточенная на уровне перекрытия верхнего этажа, иногда бывает больше, чем на уровнях междуэтажных перекрытий. Такое превышение может иметь место и на других этажах.

Возможен также случай, когда одна из масс по величине меньше остальных поэтажных масс, и частности, на уровне перекрытия верхнего этажа. Изменение величины массы на любом этаже приводит к изменению всех составляющих спектра частот и форм свободных колебаний здания. Только в исключительном случае изменение величины одной из масс не окажет никакого влияния на одну из собственных частот системы, когда она находится в узле соответственной формы колебаний.

Таблица 2

Корни частотных уравнений

Число этажей и форма коле- баний		Величины λ_r							
		при $\zeta = 1$ $\mu = 1$	при значениях ζ :				при значениях μ :		
			0,8	1,2	1,4	1,6	1,2	1,4	1,6
2	I	0,382	0,416	0,333	0,295	—	0,362	0,342	—
	II	2,618	2,804	2,500	2,419	—	2,305	2,086	—
3	I	0,198	0,222	0,179	0,162	—	0,191	0,190	—
	II	1,555	1,686	1,163	1,395	—	1,399	1,268	—
	III	3,247	3,342	3,192	3,157	—	3,074	2,971	—
4	I	0,121	0,132	0,111	0,103	—	0,119	0,118	—
	II	1	1,077	0,911	0,896	—	0,934	0,871	—
	III	2,317	2,457	2,777	2,229	—	2,173	2,018	—
5	I	0,081	—	0,076	0,071	0,081	0,081	0,080	0,079
	II	0,690	—	0,653	0,622	0,597	0,661	0,631	0,601
	III	1,715	—	1,655	1,612	1,580	1,600	1,502	1,422
6	I	0,058	—	—	0,052	0,049	—	0,059	0,058
	II	0,503	—	—	0,457	0,139	—	0,174	0,159
	III	1,291	—	—	1,209	1,182	—	1,155	1,095
7	I	0,044	—	—	0,040	0,038	—	0,044	0,043
	II	0,382	—	—	0,350	0,337	—	0,367	0,359
	III	1	—	—	0,937	0,911	—	0,915	0,875

где T_r — период r -ой формы свободных колебаний, когда одна из поэтажных масс по величине отлична от остальных;

T_r^* — то же, при равенстве поэтажных масс.

Поскольку корни λ_r — безразмерные частоты свободных колебаний, то выражение (12) удобнее представить в виде:

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{\lambda_r^2}{\lambda_r^*}} \quad (13)$$

где λ_r^* — корни частотного уравнения при равенстве поэтажных масс.

Кривые зависимости λ_r от этажности n и параметров ζ и μ , построенные по данным табл. 2, приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2 и табл. 2, влияние большей массы зависит от этажности здания — уменьшаясь с увеличением числа степеней свободы системы n . Когда одна из масс превышает по величине остальные поэтажные массы на 20—30% и имеет экстремальное расположение, ее влияние на периоды первых трех форм колебаний уже при $n = 5$ не превышает 5%. В случае, когда одна из поэтажных масс меньше остальных на 20—30%, периоды свободных колебаний получаются с недостатком, не превышающим 5%. Поступая аналогичным образом, можно показать, что при ином расположении большей

(меньшей) массы ее влияние на периоды первых трех тонов колебаний, в частности обертонов, будет того же порядка.

Используя данные табл. 2, по выражениям (7) и (11) вычислены величины коэффициентов γ_{kr} первых трех форм колебаний систем со

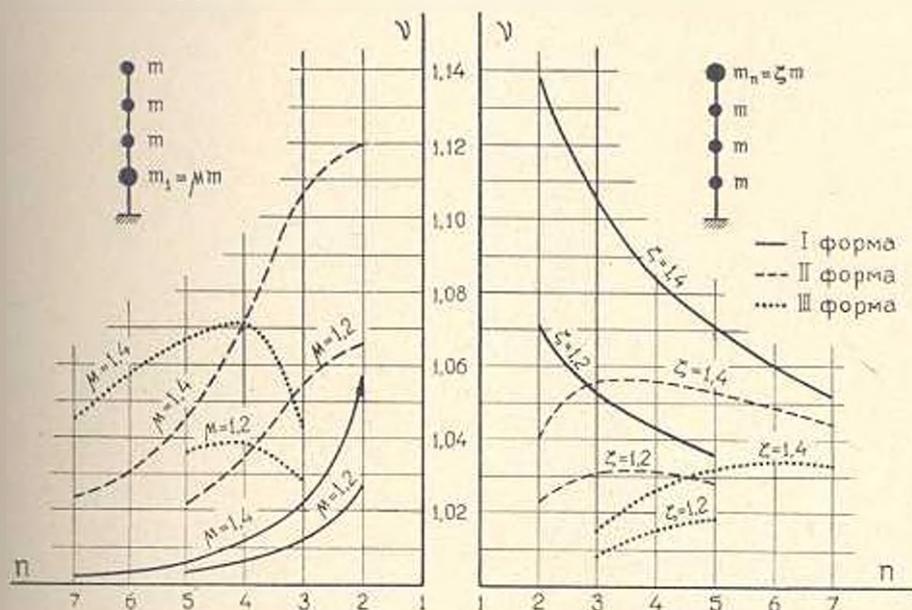


Рис. 2. Кривые зависимости γ_r от этажности n и параметров ζ и μ .

степенями свободы до $n = 4$. Для оценки влияния одной из масс, отличающейся по величине от остальных поэтажных масс, на формы свободных колебаний, рассматривается отношение

$$\bar{\gamma}_{kr} = \frac{\gamma_{kr}}{\gamma_{kr}^0}$$

где γ_{kr}^0 — коэффициенты формы колебания r -го тона в случае равенства поэтажных масс.

Вычисленные величины $\bar{\gamma}_{kr}$ приведены в таблицах 3 и 4. Как видно из этих таблиц, влияние большей массы на формы свободных колебаний зависит от этажности здания, с увеличением которой величины $\bar{\gamma}_{kr}$ для первых двух тонов колебаний стремятся к единице.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что при числе степеней свободы системы $n > 5$ влиянием неравенства поэтажных масс в пределах 20—30% можно пренебречь и периоды и формы свободных колебаний многоэтажных зданий определять как для систем с равными массами на всех этажах. Более точные результаты получаются, когда в формуле (1) за величину поэтажной массы принимается среднеарифметическое всех масс системы. При этом отношение периодов свободных колебаний представляется в виде:

$$\bar{\gamma}_r = \gamma_r \sqrt{\frac{n}{n-1+\xi}} \quad (14)$$

Таблица 3

Соотношение коэффициентов форм колебаний при расположении большей массы на уровне перекрытия верхнего этажа

Число этажей	Этаж	Величины γ_n при значениях ϵ					
		1,2			1,4		
		I форма	II форма	III форма	I форма	II форма	III форма
2	I	0,959	1,112	—	0,924	1,199	—
	II	0,987	0,906	—	0,974	0,818	—
3	I	0,959	1,034	1,102	0,924	1,066	1,176
	II	0,962	1,244	1,052	0,943	1,442	1,089
	III	0,990	0,918	0,833	0,977	0,943	0,717
4	I	0,961	0,991	1,054	0,928	1,012	1,092
	II	0,967	1,048	0,857	0,937	1,117	0,730
	III	0,975	—	1,105	0,953	—	1,179
	IV	0,997	0,931	0,858	0,987	0,874	0,750

Таблица 4

Соотношение коэффициентов форм колебаний при расположении большей массы на уровне перекрытия первого этажа

Число этажей	Этаж	Величины γ_n при значениях ϵ					
		1,2			1,4		
		I форма	II форма	III форма	I форма	II форма	III форма
2	I	1,047	0,877	—	1,089	0,769	—
	II	1,104	1,094	—	1,022	1,153	—
3	I	1,041	1,049	0,630	1,081	1,052	0,426
	II	1,020	0,756	0,867	1,040	0,526	0,741
	III	1,016	1,054	0,933	1,030	1,096	0,850
4	I	1,025	1,120	0,848	1,055	1,204	0,679
	II	1,015	0,985	1,508	1,032	0,940	1,714
	III	1,011	—	0,858	1,025	—	0,741
	IV	1,017	1,060	0,992	1,029	1,102	0,950

где γ_n определяется из выражения (13), а через ϵ обозначены значения ϵ и ν . Тогда даже при более значительных отклонениях (порядка 50–60%) величины большей массы от остальных поэтажных масс, ее влияние на периоды первых трех форм свободных колебаний не значительно — менее 5%, в особенности, когда эта масса расположена на уровне перекрытия верхнего этажа. Равенство поэтажных масс следует принимать при определении периодов и форм свободных колебаний. Однако в последующем при определении сейсмических нагрузок учет реальных величин поэтажных масс уже необходим.

Տ. Ա. ԿՈՐՈՏԱՆ

ՔԱՂՄԱՀԱՐԿ ԵՆՔԵՐԻ ԱՉԱՏ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՊԱՐԵՐՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒ ՋԵՎԵՐԻ ՎՐԱ ՀԱՐԿԵՐԻ ՄԱՍՍԱՆԵՐԻ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐՈՒԹՅԱՆ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱՐԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ս փ ս լ մ

Ուսումնասիրության է ենթարկված հարկերի մասսաների անհավասարության ազդեցությունը բազմահարկ շենքերի ազատ տատանումների պարբերությունների ու ձևերի սպեկտրի վրա: Ընդունելով, որ ծածկերը կոշտ սկզբափակի դեր են խաղում, դիտված են մինչև 7 ազատության աստիճան ունեցող սխտանների հաճախությունների հավասարումները՝ երբ որևէ հարկի մասսաների մեծությամբ տարբեր է մնացած հարկերի մասսաներից:

Բացահայտված է, որ երբ հարկերի մասսաների մեծությունների տարբերությունը 20—30% սահմաններում է, ապա 5-ից ավելի ազատության աստիճան ունեցող սխտանների համար այդ տարբերության ազդեցությունը զորանականորեն արհամարելի է և ազատ տատանումների առաջին երեք տոնի պարբերություններն ու ձևերը կարելի է որոշել բոլոր հարկերում հավասար մասսաներ ընդունելով: Ընդ որում նշվում է, որ առավել ճշգրիտ արդյունքներ կստացվեն, եթե որպես հարկի մասսայի մեծություն վերցվի սխտանի բոլոր մասսաների միջին թվաքանականը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гороян Т. А., Хачиян Э. Е. К изучению сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий повышенной этажности. Доклады Всесоюзного совещания по сейсмостойкому строительству в Алма-Ате. Ереван, 1967.
2. Бернштейн С. А. Основы динамики сооружений. Стройиздат, 1941.

ՈՒ-11228

