

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЗДАНИЯ КНИГОХРАНИЛИЩА НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Докт. техн. наук, проф. БОСАКОВ С. В., инж. КАЛОША О. И.

Белорусский национальный технический университет,
УП «Минскпроект»

Беларусь не относится к районам с сейсмичностью 7–9 баллов, и поэтому на ее территории не распространяются нормы проектирования [1]. Однако здание книгохранилища, имеющее оригинальную конструкцию с высоко-расположенным центром масс, является особо ответственным сооружением высотой более 16 этажей, что послужило основанием для выполнения авторами поверочного расчета на сейсмичность.

Исходными данными для расчета явились:

1) величина расчетной сейсмической интенсивности, составляющая для г. Минска 6 баллов (Письмо № 34/20 от 20.02.03, ГУ «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси» в ответ на запрос № 744 от 17.02.03. УП «Минскпроект»). К сожа-

лению, Центр не передал инструментальную запись ускорений основания при землетрясении, что необходимо «...при проектировании особо ответственных сооружений и высоких (более 16 этажей) зданий» [1]);

2) категория грунта по сейсмическим свойствам на площадке строительства, которую в соответствии с заключением [2] и табл. 1 [1] следует принять второй;

3) горизонтальное направление действия сейсмической нагрузки, которое может быть наиболее опасным для конструкции книгохранилища.

Существующие программные комплексы не позволяют выполнить расчет на сейсмичность при величине расчетной интенсивности строительной площадки 6 баллов по шкале MSK-64. Поэтому авторы выбрали путь ручного счета

Таблица 1

Вес массы $Q_k, \text{т}$	Первая форма для $T_1 = 1,11; \beta_1 = 1$				Вторая форма для $T_2 = 0,26934; \beta_2 = 2,7$				Третья форма для $T_3 = 0,16203; \beta_3 = 2,7$				Четвертая форма для $T_4 = 0,09747; \beta_4 = 2,7$				$M_{\text{рас}}$ тм
	γ_{1k}	η_{1k}	$S_{01k}, \text{т}$	$S_{1k}, \text{т}$	γ_{2k}	η_{2k}	$S_{02k}, \text{т}$	$S_{2k}, \text{т}$	γ_{3k}	η_{3k}	$S_{03k}, \text{т}$	$S_{3k}, \text{т}$	γ_{4k}	η_{4k}	$S_{04k}, \text{т}$	$S_{4k}, \text{т}$	
$Q_1 = 10203$	0,07307	0,14003	85,7237	218,595	0,38008	0,31157	514,99	1313,22	0,03417	0,00200	3,31	8,44	0,98489	0,54640	903,13	2302,99	$M_{\text{заш}} = 465797$ 338127
$Q_2 = 34497$	0,26880	0,51513	1066,22	2718,86	0,69451	0,56932	3181,66	8113,23	-0,13937	-0,00817	-45,64	-116,38	-0,13750	0,07628	-426,30	-1087,06	184452
$Q_3 = 34497$	0,56762	1,08779	2251,53	5741,39	-0,12825	-0,10513	-587,51	-1498,16	0,39197	0,02297	128,36	327,32	-0,01015	-0,00563	-31,45	-80,21	50122
$Q_4 = 9103$	0,77473	1,48469	810,911	2067,82	-0,59728	-0,48961	-722,02	-1841,16	-0,90871	-0,05325	-78,52	-200,24	0,10484	0,05816	85,77	218,72	0

по [1] при максимально возможном использовании потенциала программных комплексов и ЭВМ. Расчет выполнялся в несколько этапов.

Этап 1. Составление матрицы масс для расчетной схемы книгохранилища в виде вертикального защемленного стержня переменной жесткости. Для этого УП «Минскпроект» выполнил сбор вертикальных нагрузок (собственный вес + временная длительно действующая + снеговая), что позволило составить следующую матрицу весов масс консольного стержня с четырьмя степенями свободы (рис. 1):

$$M = \begin{bmatrix} 9103 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 34497 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 34497 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10203 \end{bmatrix}, \text{ т.} \quad (1)$$

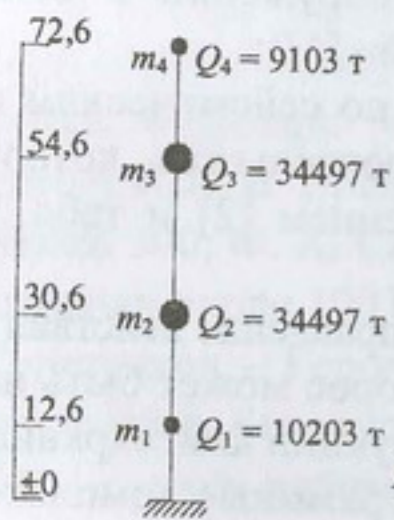


Рис. 1. Распределение масс по высоте

Этап 2. Составление матрицы внешней податливости расчетной схемы книгохранилища. Для этого выполнен расчет на четыре загрузки горизонтальной нагрузкой, приложенной к расчетной схеме на уровне центров тяжести масс. Получена матрица податливости

$$B = 10^{-3} \begin{bmatrix} 0,01033 & 0,00695 & 0,00306 & 0,00073 \\ 0,00695 & 0,00526 & 0,00235 & 0,00063 \\ 0,00306 & 0,00235 & 0,00177 & 0,00050 \\ 0,00073 & 0,00063 & 0,00050 & 0,00042 \end{bmatrix}, \text{ м/т.} \quad (2)$$

Этап 3. На пакете «Mathematika-4» по формуле

$$\text{Det}[BM - \lambda E] = 0, \quad (3)$$

где E – единичная матрица, определились частоты и формы собственных колебаний расчетной схемы (рис. 2). Также была выполнена про-

верка их ортогональности. В результате проверки получено

$$Y^T M Y = \begin{bmatrix} 19125,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 21928,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13499,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10652,7 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

$\lambda_1 = 0,307022$ $\lambda_2 = 0,018027$ $\lambda_3 = 0,006524$ $\lambda_4 = 0,003607$
 $\omega_1 = 5,652632 \text{ 1/c}$ $\omega_2 = 23,3275 \text{ 1/c}$ $\omega_3 = 38,7774 \text{ 1/c}$ $\omega_4 = 64,4629 \text{ 1/c}$
 $T_1 = 1,11155 \text{ с}$ $T_2 = 0,26935 \text{ с}$ $T_3 = 0,16203 \text{ с}$ $T_4 = 0,09747 \text{ с}$

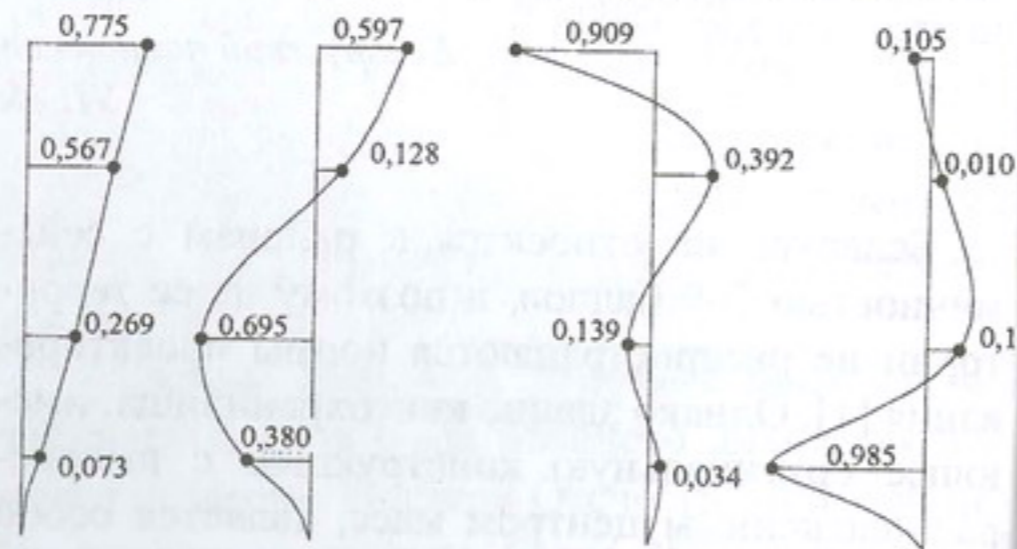


Рис. 2. Эпюры нормированных собственных форм колебаний

В (4) не получилась единичная матрица, так как собственные векторы форм нормированы.

Этап 4. Для $I = 6$ баллов по [3] находим пиковое ускорение грунта (30...60 см/с²) по шкале MSK-64. По методике [1] определялись силы инерции, приложенные к каждой массе для каждой частоты собственных колебаний. При этом принимали: $K_1 = 1$ (табл. 3[1]); $K_2 = 0,9 + 0,075 \cdot (25 - 3)$ (табл. 4[1]); $K_\psi = 1$ (табл. 6[1]); $A = 0,06$ (п. 2.5 [1]) и использовались формулы [1] для расчетной сейсмической нагрузки S_{ik} в выбранном направлении, приложенной к массе k и соответствующей i -й форме колебаний:

$$S_{ik} = K_1 K_2 S_{0ik}, \quad (5)$$

где S_{0ik} – значение сейсмической нагрузки для i -й формы колебаний в предположении упругого деформирования сооружения (сила инерции, приложенная к массе k) (рис. 3), определяется по формуле

$$S_{0ik} = Q_k A \beta_i K_\psi \eta_{ik}, \quad (6)$$

где Q_k – вес массы k (рис. 1); β_i – коэффициент динамичности (рис. 2 [1]), соответствующий i -й

форме колебаний; η_{ik} – коэффициент формы колебаний, определяется по формуле [1]

$$\eta_{ik} = \frac{Y_i(x_k) \sum_{j=1}^4 Q_j Y_j(x_j)}{\sum_{j=1}^4 Q_j Y_j^2(x_j)} \quad (7)$$

для i -й формы колебаний (рис. 2).

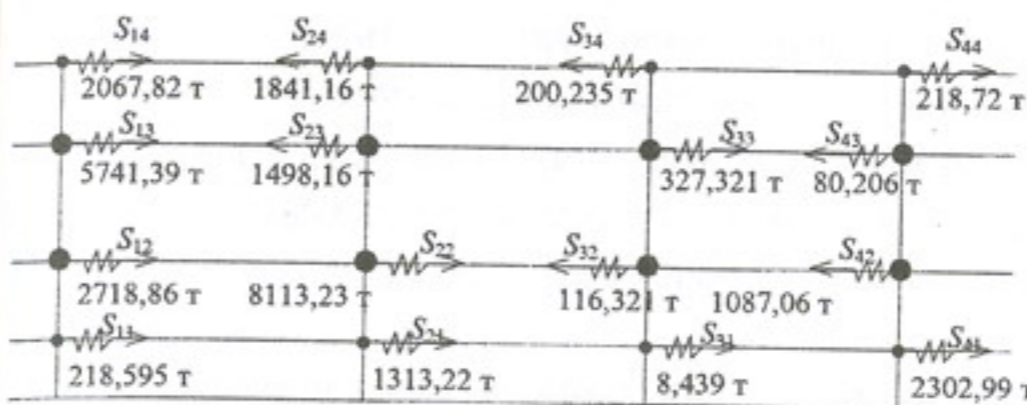


Рис. 3. Значение сил инерции по каждой форме колебаний

Этап 5. Определены расчетные значения внутренних усилий в сечениях по формуле [1]

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^4 N_i^2}, \quad (8)$$

где N_i – величина усилия в сечении от действия силы инерции, соответствующей i -й форме колебаний.

Результаты расчета по этапам 3...5 сведены в табл. 1. Отметим, что величина расчетного изгибающего момента в условном защемлении на отметке $\pm 0,0$ при сейсмической интенсивности стройплощадки $I = 6$ баллов по шкале MSK-64 от действия только сил инерции составляет 465797 тм, при этом максимальное горизонтальное перемещение верха книгохранилища равно 71 мм (рис. 4).

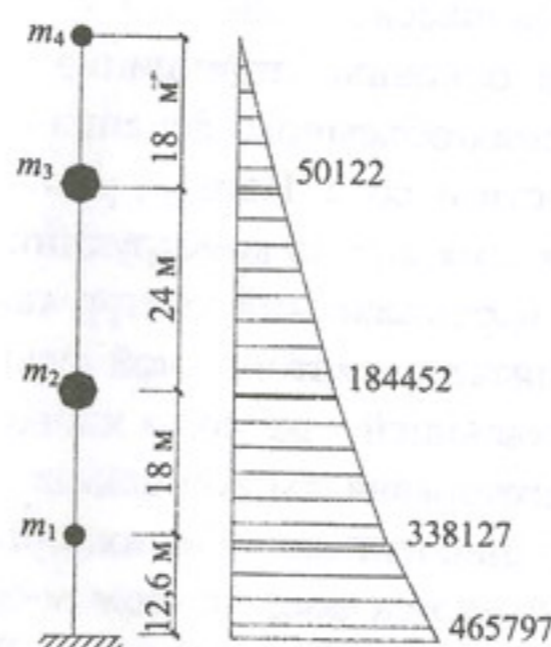


Рис. 4. Эпюра $M_{расч}$

Авторы также считают необходимым отметить следующее. В соответствии с данными геологических изысканий площадки строительства можно получить примерные оценки длин гармонических волн в грунте [4] при $E_0 = 5200 \text{ т/м}^2$; $\nu_0 = 0,35$; $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$:

а) P -волны (волны продольные)

$$v_p = \sqrt{\frac{E_0(1-\nu_0)}{\rho(1-2\nu_0)(1+\nu_0)}} = 215,325, \text{ м/с.}$$

При частоте волны $f = 1$ Гц получим длину продольной волны

$$\lambda_p = \frac{v_p}{f} = 215,325, \text{ м;}$$

б) S -волны (волны сдвига)

$$v_s = \sqrt{\frac{E_0}{2\rho(1+\nu_0)}} = 103,439, \text{ м/с;}$$

$$\lambda_s = \frac{v_s}{f} = 103,439, \text{ м;}$$

в) R -волны (волны Рэлея)

$$v_R = \frac{0,86 + 1,14\nu_0}{1 + \nu_0} v_s = 96,466, \text{ м/с}$$

$$\lambda_R = \frac{v_R}{f} = 96,466, \text{ м.}$$

Очевидно, при большой частоте длина найденных волн уменьшается.

Как отмечено в [4], амплитуда волн Рэлея значительно больше амплитуд продольных волн и волн сдвига. В слоистых грунтах для конструкции могут иметь существенное значение поверхностные волны Лява, имеющие длину волны одного порядка с волнами Рэлея. Нормы не предусматривают расчет сооружения на сейсмостойкость, когда линейные размеры фундаментной плиты сопоставимы с длиной грунтовой волны. Упрощенно это явление соответствует поведению корабля при килевой или бортовой качке. Авторы обращают внимание именно на этот аспект проблемы расчета книгохранилища на сейсмичность и считают целесообразным выполнить его в нетрадиционной постановке в будущем.