

Смирнова Л.Н.
кандидат технических наук, ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство», Москва,
Российская Федерация

Уздин А.М.
доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»,
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I, Санкт-
Петербург, Российская Федерация

Полоротова Н.А.
студентка факультета «Транспортное строительство», ФГБОУ ВО Петербургский государственный
университет путей сообщения им. Александра I, Санкт-Петербург, Российская Федерация

УДК 624.042.7

К вопросу об учете демпфирования при оценке сейсмостойкости сооружений

Аннотация: В связи с дискуссией, возникшей по поводу представления уравнений сейсмических колебаний с учетом демпфирования, авторы излагают свой взгляд на проблему. Постро-

ены уравнения колебаний с учетом внешнего и внутреннего демпфирования. Рассмотрены случаи однородного и неоднородного поля ускорений дневной поверхности по длине сооружения.

Ключевые слова: внешнее демпфирование, внутреннее демпфирование, неоднородное поле ускорений, опорный узел, уравнение сейсмических колебаний.

Smirnova L.N., candidate of technical sciences, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation
Uzdin A.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department «Strength of materials and structures»,
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russian Federation
Polorotova N.A., Student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russian Federation

On the Issue of Taking into Account Damping in the Assessment of Seismic Resistance of Structures

Abstract: The authors present their view of the problem, with the frame of the discussion devoted to equations of seismic oscillations taking into account damping. The oscillation equations taking

into account external and internal damping are written down. The cases of homogeneous and inhomogeneous acceleration field of the day surface along the length of the structure are considered.

Keywords: external damping, internal damping, inhomogeneous acceleration field, node at the point of support of the structure, equation of seismic oscillations.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос учета демпфирования при оценке сейсмостойкости сооружений в настоящее время обсуждается достаточно активно [1-5]. С одной стороны, указанный вопрос представляется актуальным, а с другой стороны, он сложен для понимания инженерами.

Актуальность вопроса связана с тем, что при проектировании приходится сталкиваться с сооружениями, состоящими из элементов с различным демпфированием. Яркими примерами такого рода сооружений могут служить металлические мосты. В металлических пролетных строениях затухание небольшое ($\gamma \approx 0.05$), в теле опоры $\gamma \approx 0.1$, а в грунтовом основании $\gamma \approx 0.15-0.25$.

Принципиальное значение имеет взаимодействие грунтового основания с опорой. Как известно [6,7], для моделирования грунта используются два типа моделей – с большим и малым количеством степеней свободы. В моделях грунта с малым количеством степеней свободы обязательно присутствует демпфер, затухание в котором может достигать 20-30% от критического ($\gamma \approx 0.4-0.6$) [8,9]. В конечно-элементных моделях с большим количеством степеней свободы для учета оттока энергии в грунт используется демпфирующая или Лисмерова граница [6,7].

Даже в простейшем случае расчета здания на нескальном грунте возникает необходимость учета двух характеристик затухания – в грунте и в здании.

Сложность в понимании методов учета демпфирования для инженера обусловлена тем, что в нормативных и методических документах этот вопрос не затрагивается. Инженер находится в сложной ситуации, когда современные программные комплексы, такие как MIDAS, ANSYS, ABACUS, COSMOS и др. тем или иным способом учитывают демпфирование, а матрицу масс формируют на основе МКЭ. Формально такой подход противоречит СП, так как матрица масс в нормах считается диагональной.

В связи с изложенным, авторы посчитали возможным привести известное представление уравнения движения, используемое в работе [11] с разъяснением положений, обсуждаемых в [1-5].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Прежде всего, обратимся к самому общему виду движения сооружения, имеющего общие узлы с основанием. На рисунке 1 схематично изображены фрагмент конечно-элементной модели основания (рис.1, а) и двухпролетная рама с опиранием опор на основание (рис.1, б).

Уравнения движения рассматриваемой системы описаны в [1-5, 11] и представляются в виде

$$\left(\begin{array}{c|c} \mathbf{M} & \mathbf{m}_{12} \\ \hline \mathbf{m}_{12}^T & \mathbf{m}_{22} \end{array} \right) \cdot \begin{pmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \ddot{\mathbf{y}}_0 \end{pmatrix} + \left(\begin{array}{c|c} \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_E & \beta_{12} \\ \hline \beta_{12}^T & \mathbf{B}_{22} \end{array} \right) \cdot \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{q}} \\ \dot{\mathbf{y}}_0 \end{pmatrix} + \left(\begin{array}{c|c} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{C} \\ \hline \mathbf{C}^T & \mathbf{R}_{22} \end{array} \right) \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{y}_0 \end{pmatrix} = \mathbf{0} \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{m}_{11} = \mathbf{M}$ – часть матрицы инерции системы без опорных узлов; $\mathbf{m}_{21} = \mathbf{m}_{12}^T$ – часть матрицы инерции системы, обусловленная силами инерции масс, вызванными перемещениями внутренних узлов конструкции от смещения опорных узлов; символом «Т» обозначена операция транс-

понирования матрицы; \mathbf{m}_{22} – матрица инерции, соответствующая узлам на границе расчетной области и основания; $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_E$ – часть матриц внутреннего и внешнего демпфирования системы без опорных узлов; (индекс «I» относится к внутренним узлам, а «E» – к внешним); β_{12}, β_{12}^T – матрицы реакции по направлению обобщенных координат, обусловленные скоростями, вызванными смещением опорных узлов, $\beta_{21} = \beta_{12}^T$; \mathbf{B}_{22} – матрица демпфирования, соответствующая узлам на границе расчетной области и основания; \mathbf{R}_{11} – часть матрицы жесткости системы без опорных узлов; \mathbf{R}_{22} – матрица жесткости, соответствующая узлам на границе расчетной области и основания; \mathbf{C} – часть матрицы реакций по направлению обобщенных координат от смещения опорных узлов; $\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}$ – векторы соответственно обобщенных ускорений, скоростей и перемещений, длина которых равна числу неизвестных; $\ddot{\mathbf{y}}_0$ – вектор кинематического возмущения (ускорения опорных узлов).

Смещения опорных узлов вызывают как абсолютные смещения и скорости внутренних узлов, так и их относительные смещения и скорости. Это позволяет представить матрицу β_{12} следующим образом

$$\beta_{12} = \beta_1 + \beta_E \quad (2)$$

где β_1, β_E – матрицы реакций по направлению обобщенных координат, обусловленные скоростями внутренних узлов, вызванными смещением опорных узлов.

Перемещения опорных узлов считаются заданными [1-5]. Для внутренних узлов системы получается следующее уравнение

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{m}_1\ddot{\mathbf{y}}_0 + (\mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{q}} + (\beta_1 + \beta_E)\dot{\mathbf{y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{q} + \mathbf{C}\mathbf{y}_0 = \mathbf{0} \quad (3)$$

В уравнении (3) осуществляется переход к относительным смещениям \mathbf{y} , которые получаются из исходных смещений \mathbf{q} выделением статической части \mathbf{u} , удовлетворяющих уравнению

$$\mathbf{R}\mathbf{u} + \mathbf{C}\mathbf{y}_0 = \mathbf{0} \quad (4)$$

Из (4) получаем вектор статических перемещений

$$\mathbf{u} = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{y}_0 = \mathbf{0} \quad (5)$$

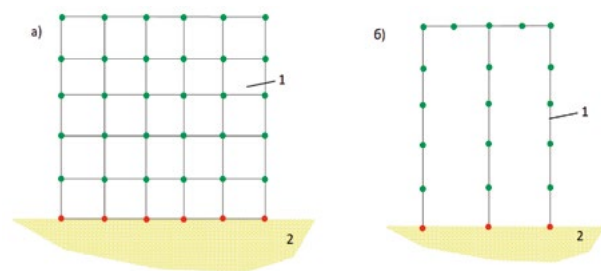


Рисунок 1 — Примеры расчетных схемы, узлы которых имеют общие точки с основанием
● опорные узлы, общие с основанием и имеющие заданные перемещения;
● внутренние узлы, перемещения которых определяются 1 – конструкция; 2 – основание

Figure 1 — Examples of design scheme, the nodes of which have common ground contact points
● support nodes, common ground contact points;
● internal nodes whose movements are defined 1 – construction; 2 – groundbase

С учетом сказанного

$$\mathbf{Y} = \mathbf{q} - \mathbf{u} \quad (6)$$

В новых переменных уравнение (3) примет вид

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} - \mathbf{m}_1\ddot{\mathbf{Y}}_0 - (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{u}} - \beta_I\dot{\mathbf{Y}}_0 - \beta_E\dot{\mathbf{Y}}_0 - \mathbf{R}\mathbf{u} - \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 \quad (7)$$

После подстановки в (7) представления вектора \mathbf{u} из (5) получим:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 - \mathbf{m}_1\ddot{\mathbf{Y}}_0 + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\dot{\mathbf{Y}}_0 - \beta_I\dot{\mathbf{Y}}_0 - \beta_E\dot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0 - \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 \quad (8)$$

После сокращения подобных членов получим

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 - \mathbf{m}_1\ddot{\mathbf{Y}}_0 + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\dot{\mathbf{Y}}_0 - \beta_I\dot{\mathbf{Y}}_0 - \beta_E\dot{\mathbf{Y}}_0 \quad (9)$$

Если поле ускорений по длине сооружения однородно и имеет направление вдоль оси y , т.е. ускорения опорных узлов одинаковы и равны \ddot{y}_0 , то построенные соотношения упрощаются

$$\mathbf{u} = \mathbf{I}y_0, \quad \mathbf{Y}_0 = \hat{\mathbf{I}}y_0 \quad (10)$$

Здесь \mathbf{I} – единичный вектор-столбец, длиной N , равной числу неизвестных; $\hat{\mathbf{I}}$ – единичный вектор-столбец, длиной n , равной числу опорных узлов.

Учитывая (5) и (10), можно записать

$$\mathbf{u} = \mathbf{I}y_0 = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0 \quad (6)$$

В результате получается следующее уравнение движения

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\mathbf{I}\ddot{y}_0 - \mathbf{m}_1\hat{\mathbf{I}}\ddot{y}_0 - (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\mathbf{I}\dot{y}_0 - \beta_I\hat{\mathbf{I}}\dot{y}_0 - \beta_E\hat{\mathbf{I}}\dot{y}_0 \quad (12)$$

или

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -(\mathbf{M}\mathbf{I} + \mathbf{m}_1\hat{\mathbf{I}})\ddot{y}_0 - (\mathbf{B}_I\mathbf{I} + \beta_I\hat{\mathbf{I}})\dot{y}_0 - (\mathbf{B}_E\mathbf{I} + \beta_E\hat{\mathbf{I}})\dot{y}_0 \quad (13)$$

В случае одинакового смещения опор невесомой системы в ней, как справедливо отмечается в [1-3], отсутствуют усилия. Это означает, что матрица демпфирования должна удовлетворять условию

$$\mathbf{B}_I\mathbf{I} + \beta_I\hat{\mathbf{I}} = \mathbf{0} \quad (14)$$

Из условия (14) можно получить матрицу β_I , которая обеспечивает отсутствие усилий в сооружении при её равномерном поступательном движении, как жесткого целого

$$\beta_I = -\mathbf{B}_I\mathbf{I} \cdot \mathbf{Y}_0^T \cdot (\mathbf{Y}_0 \cdot \mathbf{Y}_0^T)^{-1} \quad (15)$$

При этом уравнение движения примет окончательный вид

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + (\mathbf{B}_I + \mathbf{B}_E)\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -(\mathbf{M}\mathbf{I} + \mathbf{m}_1\hat{\mathbf{I}})\ddot{y}_0 - (\mathbf{B}_E\mathbf{I} + \beta_E\hat{\mathbf{I}})\dot{y}_0 \quad (16)$$

В статьях [1-3] обсуждается вопрос представления матрицы демпфирования в форме Рэлея. Как известно, это представление имеет вид

$$\mathbf{B}_I = \alpha_m\mathbf{M} + \alpha_r\mathbf{R} \quad (17)$$

В этом случае должно выполняться условие (14), т.е.

$$\alpha_m\mathbf{M}\mathbf{I} + \alpha_r(\mathbf{R}\mathbf{I} + \beta_I\hat{\mathbf{I}}) = \mathbf{0} \quad (18)$$

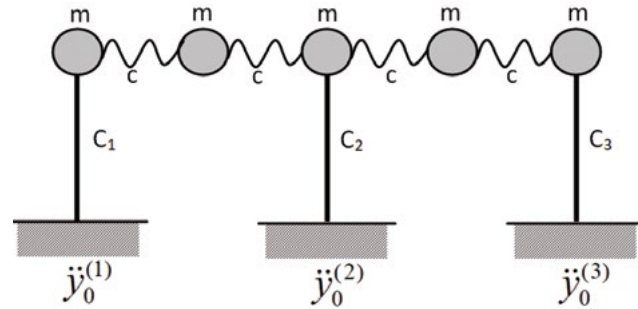


Рисунок 2 — Схема двухпролетной системы

Figure 2 — Scheme of two-span system

Если

$$\frac{1}{\alpha_r}\beta_I = \mathbf{C}, \quad (19)$$

то правая скобка в равенстве (18) обратится в 0. В этом случае для выполнения условия (14) необходимо, чтобы $\alpha_m = 0$.

Из сказанного следует, что представление демпфирования в форме Рэлея вполне допустимо, для этого вполне достаточно обеспечить выполнение равенства (14).

Из уравнения (15) следует также, что для однородного поля ускорений по длине сооружения (для жесткого подвеса сооружения в терминах [1-3]) внутреннее трение не приводит к усложнению правой части уравнения сейсмических колебаний. Такое усложнение возможно лишь при наличии внешнего трения.

Рассмотрим сказанное на простом примере двухпролетной системы с пятью степенями свободы, схема которой представлена на рисунке 2.

Примем следующие исходные данные: $m=100\text{т}$; ускорение основания $A=0,4\text{г м/с}^2$; $c=C_2=10000\text{ кН/м}$; $C_1=5000\text{ кН/м}$; $C_3=15000\text{ кН/м}$.

Матрицы инерции, жесткости и влияния смещения опор системы будут иметь вид:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} (c+C_1) & -c & 0 & 0 & 0 \\ -c & 2c & -c & 0 & 0 \\ 0 & -c & (2c+C_2) & -c & 0 \\ 0 & 0 & -c & 2c & -c \\ 0 & 0 & 0 & -c & (c+C_3) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1,5 \times 10^4 & -1 \times 10^4 & 0 & 0 & 0 \\ -1 \times 10^4 & 2 \times 10^4 & -1 \times 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & -1 \times 10^4 & 3 \times 10^4 & -1 \times 10^4 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \times 10^4 & 2 \times 10^4 & -1 \times 10^4 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \times 10^4 & 2,5 \times 10^4 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{r} = \begin{bmatrix} 5 \times 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 \times 10^4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,5 \times 10^4 \end{bmatrix}.$$

Вектор перемещений имеет вид:

$$\mathbf{Y}_0 = \begin{bmatrix} y_0^{(1)} \\ y_0^{(2)} \\ y_0^{(3)} \\ y_0^{(4)} \\ y_0^{(5)} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Y}_0 = \begin{bmatrix} || \\ || \\ || \\ || \\ || \end{bmatrix}.$$

Собственные частоты для принятых исходных данных будут равны:

Таблица 1 — Коэффициенты α_M и α_R для построения матрицы демпфирования по Рэлею

Table 1 — Coefficients α_M and α_R to generate the damping in accordance with the Rayleigh

Коэффициент неупругого сопротивления	Коэффициенты для подбора по Рэлею	
	$\alpha_{mi} = \frac{\gamma_i \cdot \omega_{max} \cdot \omega_{min}}{\omega_{max} + \omega_{min}}$	$\alpha_{ri} = \frac{\gamma_i}{\omega_{max} + \omega_{min}}$
$\gamma_1 = 0.05$	0.2	0.003005
$\gamma_2 = 0.25$	0.998	0.015
$\gamma_3 = 0.16$	0.639	0.009615
$\gamma_4 = 0.1$	0.399	0.006009

$$K = \begin{pmatrix} 6.641 \\ 10.000 \\ 15.047 \\ 17.642 \\ 20.451 \end{pmatrix}$$

Зная частоты, можно перейти к матрице демпфирования в форме Рэлея.

$$B = \alpha_M M + \alpha_R R \quad (20)$$

Нами используется обобщенная гипотеза Рэлея, в соответствии с которой формула (20) применяется к каждой части матриц инерции и жесткости, порождаемой каждым типом элементов системы.

Для формирования коэффициентов Рэлея использованы частоты первых двух форм

$$\omega_{max} = 10c^{-1}; \quad \omega_{min} = 6.641c^{-1}$$

Коэффициенты α_M и α_R в зависимости от значений коэффициентов неупругого сопротивления приведены в таблице 1.

На основе обобщенной гипотезы Рэлея получаем следующую матрицу демпфирования системы

$$B_i = (\alpha_{r1} \cdot R_1 + \alpha_{m1} \cdot M_1) + (\alpha_{r2} \cdot R_2 + \alpha_{m2} \cdot M_2) + (\alpha_{r3} \cdot R_3 + \alpha_{m3} \cdot M_3) + (\alpha_{r4} \cdot R_4 + \alpha_{m4} \cdot M_4) \quad (21)$$

Здесь матрицы R_i и M_i – матрицы, определяющие вклад i -го элемента в матрицы жесткости и демпфирования. Например,

$$M_1 = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad R_1 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В результате элементы матрицы B_i принимают следующие значения

$$B_i = \begin{pmatrix} 125.116 & -30.046 & 0 & 0 & 0 \\ -30.046 & 80.046 & -30.046 & 0 & 0 \\ 0 & -30.046 & 176.194 & -30.046 & 0 \\ 0 & 0 & -30.046 & 80.046 & -30.046 \\ 0 & 0 & 0 & -30.046 & 140.139 \end{pmatrix}$$

Если теперь задать матрицу β_i аналогичную матрице C в виде

$$\beta_i = \begin{pmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 \end{pmatrix}$$

то

$$B_i \cdot I + \beta_i \cdot Y_0 = \begin{pmatrix} 95.069 \\ 19.954 \\ 116.102 \\ 19.954 \\ 110.093 \end{pmatrix}$$

т.е. в системе возникают усилия от ее перемещения как жесткого целого.

Единственная возможность избежать возникновения таких усилий – задать матрицу β_i по формуле (15). При этом получим

$$\beta_i = \begin{pmatrix} -31.69 & -31.69 & -31.69 \\ -6.651 & -6.651 & -6.651 \\ -38.701 & -38.701 & -38.701 \\ -6.651 & -6.651 & -6.651 \\ -36.698 & -36.698 & -36.698 \end{pmatrix}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Если матрица масс системы недиагональная, то матрица масс в правой части уравнения движения может не совпадать с матрицей инерции в левой части. Инженеры не сталкиваются с этим эффектом, т.к. нормы используют диагональную матрицу инерции, для которой указанная проблема не возникает.

2. В правую часть уравнения сейсмических колебаний попадает слагаемое, включающее скорость основания, только при наличии внешнего демпфирования. Этот вопрос становится актуальным для расчета ЛЭП, висячих мостов, шельфовых сооружений и других подобных объектов, для которых может быть существенно трение о воздух и воду.

3. Демпфирование по Рэлею само по себе вполне приемлемо для задания матрицы демпфирования, но при этом нужно, чтобы выполнялось равенство (15). В противном случае результат будет ошибочен, особенно при большом демпфировании.

Литература

1. Тяпин А.Г. О роли демпфирования в динамических нагрузках при расчете на сейсмические воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №1. С.33-39.
2. Тяпин А.Г. Нежесткое кинематическое воздействие для многоопорной системы с однородным демпфированием // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 14(4) 152-157 (2018) DOI:10.22337/2587-9618-2018-14-4-152-157
3. Тяпин А.Г. Жесткое и нежесткое кинематическое воздействие для многоопорной системы: еще раз о роли демпфирования в динамических нагрузках при расчете на сейсмические воздействия // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 14(1) 164-170 (2018) DOI:10.22337/2587-9618-2018-14-1-164-170
4. Семенов В.А., Лебедев В.Л., Солдатов А.Ю. Об учете демпфирования при расчетах пространственных сооружений на сейсмические воздействия // Справочник. Инженерный журнал. 2013. №5. С.12-20.

5. Семенов В.А., Лебедев В.Л. Расчеты пространственных сооружений с использованием пространственных моделей сейсмического воздействия // Справочник. Инженерный журнал. 2012. №10. С. 21-28.
6. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия сооружения с грунтовым основанием. М., АСВ, 2013. 400 с.
7. Wolf J.P. Foundation vibration analysis using simple physical models. Prentice-Hall, EnglewoodCliffs, NJ 07632. 1994. 423 p.
8. Савинов О.А., Уздин А.М. Об учете грунтовых условий в расчетах на сейсмостойкость крупных инженерных сооружений. Строительная механика и расчет сооружений. 1979. №6. С.61-65.
9. Уздин А.М., Елизаров С.В., Белаш Т.А. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений: учеб. пособие. ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на

- железнодорожном транспорте». 2012. 501 с.
10. Lysmer J., Kuhlemeer R. Finite Dynamic Model for Infinite Media. J. Eng. Mech. Div. Proc/ASCE, 1969, Vol. 95, EM 4, pp. 859-877.
11. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М. Стройиздат. 1979. 320 с.
13. Айзенберг Я.М., Залилов К.Ю. Методика генерирования расчетных ансамблей синтетических акселерограмм на основе региональной сейсмологической информации // Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука. 1986. С.61-72.
14. Айзенберг Я.М. Сооружения с выходящими связями для сейсмических районов. Москва: Стройиздат. 1976. 232 с.
15. Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju. Displacement spectra for long periods // Earthquake Spectra, Vol.20, No.2, p.347-376.
16. Dmitrovskaya L.N., Uzdin A.M. Earthquake displacements setting for calculating structures and building earthquake scales. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 32

References

1. Tiapin A.G. O roli dempfirovaniya v dinamicheskikh nagruzkakh v raschetakh na seismicheskiye vozdeystviya [About Damping Influence to Dynamic Loadings at Calculation to Seismic Impacts] // Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii, 2018, no. 1, pp. 33-39.
2. Tiapin A.G. Nezhestkoye kinematcheskoye vozdeystviye dlya mnogoopornoy sistemy s odnorodnym dempfirovaniyem [Non-Rigid kinematic Excitation For Multiply-Supported System With Homogeneous Damping]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018, Vol. 14, Issue 4, pp. 152-157. DOI:10.22337/2587-9618-2018-14-4-152-157
3. Tiapin A.G. Zhestkoye i nezhestkoye kinematcheskoye vozdeystviye dlya mnogoopornoy sistemy: yeshche raz o roli dempfirovaniya v dinamicheskikh nagruzkakh pri raschete na seismicheskiye vozdeystviya [Rigid And

- Non-Rigid Kinematic Excitation For Multiply-Supported System: Once More About The Contribution Of Damping To The Dynamic loads In Seismic Analysis]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018, Vol. 14, Issue 1, pp.164-170. DOI:10.22337/2587-9618-2018-14-1-164-170
4. Semenov V.A., Lebedev V.L., Soldatov A. Iu. Ob Uchete Dempfirovaniya pri Raschetakh Prostranstvennykh Sooruzheniyna Seismicheskiye Vozdeystviya [About Allowance for Damping in Seismic Analysis of Spatial Structures]. Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal. 2013, no. 5, pp.12-20.
5. Semenov V.A., Lebedev V.L. Raschety prostranstvennykh sooruzhenij s ispol'zovaniem prostranstvennykh modelej seismicheskogo vozdeystviya [The Computation of Spatial Structure Using Spatial Models of Seismic Impact]. Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal. 2012, no. 10, pp. 21-28.
6. Tiapin A.G. Raschet sooruzhenij na seismich-

- eskie vozdeystviya s uchetom vzaimodeystviya sooruzheniya s gruntovym osnovaniem. M., ASV. 2013. 400 p.
7. Wolf J. P. Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632, 1994. 423 p.
8. Savinov O.A., Uzdin A.M. Ob uchete gruntovykh uslovij v raschetah na seismostojkost' krupnykh inzhenernykh sooruzhenij. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1979, no. 6, pp. 61-65.
9. Uzdin A.M., Elizarov S.V., Belash T.A. Seismostojkie konstrukcii transportnykh zdaniy i sooruzhenij. Uchebnoe posobie. FGOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zhelezнодорожном транспорте». 2012. 501 p.
10. Lysmer J., Kuhlemeer R. Finite Dynamic Model for Infinite Media. J. Eng. Mech. Div. Proc/ ASCE, 1969, Vol. 95, EM 4, pp. 859-877.
11. Klaf R., Penzien Dzh. Dinamika sooruzhenij. M. Strojizdat. 1979. 320 p.

Для цитирования: Смирнова Л.Н., Уздин А.М., Полоротова Н.А. К вопросу об учете демпфирования при оценке сейсмостойкости сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 6. С. 57-61.

For citation: Smirnova L.N., Uzdin A.M., Polorotova N.A. On the Issue of Taking into Account Damping in the Assessment of Seismic Resistance of Structures. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 6, pp. 57-61. (In Russian).

In 2020 EAEE is organizing a **European Regional Seminar on Induced Seismicity due to Human Activities** on 11-14 May 2020, in Groningen, Netherlands. You are kindly invited to circulate this first announcement among your members and encourage them to submit abstracts on the topic of Induced Seismicity.

www.eaee.org

