

УДК 550.34

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44493](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44493)

Оригинальная статья

Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации

С.А. Мамаев ¹, к.т.н., В.М. Дорофеев², к.ф.-м.н., А.С. Мамаев¹

¹Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru;

²Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии и экспериментального проектирования, Россия, 107031, г. Москва, ул. Петровка, д. 15, стр. 1

Статья поступила: 26.10.2019, после рецензирования: 20.11.2019, принята к публикации: 29.11.2019

Аннотация: **Актуальность работы.** Повышение экономичности инженерной сейсмологии – основы сейсмостойкого строительства и надежности поведения сооружений при землетрясениях в значительной степени зависит от адекватности расчетной модели сооружения и реальной работы конструкции. Создание новых конструктивных решений при проектировании сооружений должно, прежде всего, опираться на соответствующее изменение в расчетных моделях сооружений, а также на создание новых моделей, которые более точно описывают реальную работу конструкций. Наиболее точную и полную картину о поведении здания при реальном сейсмическом воздействии можно получить только при помощи информации, получаемой на станциях инженерно-сейсмометрической службы, т.к. только в этом случае можно получить данные о реакции реального сооружения на воздействие грунтов, при которой конструкции могут испытывать предельные состояния. Объект исследования – совокупность грунтов оснований строительных конструкций. **Цель работы** – разработка моделей зданий и сооружений на основе детальной инженерно-сейсмометрической информации. **Методы исследования.** Численные исследования моделей и анализ. Представлены **результаты исследований**, направленных на создание динамических моделей сооружений, пригодных для расчета на сейсмостойкость. Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки, т.е. при вынужденных колебаниях и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций. Для определения динамических параметров зданий и возможности использования методов расчета сооружений с применением импульсных передаточных функций разработаны статистические методы решения обратных задач по восстановлению подобных передаточных функций на базе инженерно-сейсмометрической информации. Анализ зарегистрированных на инженерно-сейсмометрических станциях процессов входа и (грунты основания, фундамент) и выхода (покрытие, перекрытия) позволяет определять передаточные функции и решать приведенные интегральные уравнения. **Практическая значимость работы.** Предложенная в работе методика построения динамических моделей сооружения на основе инженерно-сейсмометрической информации позволяет строить как детерминистские, так и статистические динамические модели сооружений и использовать их в расчетах сооружений на сейсмостойкость, основанных на детерминистских и статистических подходах.

Ключевые слова: динамическая модель, инженерно-сейсмометрическая информация, частоты свободных колебаний, коэффициент затухания, гистограмма, деформация, землетрясение, смещение, задача идентификации.

Для цитирования: Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Мамаев А.С. Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9(4): 111-125. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493.

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44493](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44493)

Original paper

Determination of dynamic parameters of models of buildings and structures based on engineering seismometric information

S.A. Mamaev ¹, V.M. Dorofeev², A.S. Mamaev¹

¹Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: dangeogis@mail.ru;

²Moscow Research and Design Institute of Typology and Experimental Design, 15, p. 1 Petrovka Str., Moscow 107031, Russian Federation

Received: 26.10.2019, revised: 20.11.2019, accepted: 29.11.2019

Abstract: Relevance. Improving the efficiency of engineering seismology as the basis of earthquake engineering and the reliability of structures during earthquakes largely depends on the adequacy of the design model of the structure and the actual operation of the structure. The creation of new structural solutions in the design of structures first of all should be based on a corresponding change in the design models of structures, as well as on the creation of new models that more accurately describe the real work of structures. The most accurate and complete behavior pattern of the building under real seismic effects can be obtained only with the help of information obtained at stations of the engineering-seismometric service, because only in this case it is possible to obtain data on the reaction of a real structure to the effect of soils, in which structures can experience extreme conditions. Study object is a set of soil foundations-building structures. **Aim.** To develop models of buildings and structures based on detailed engineering-seismometric information. **Methods.** Numerical investigation models and analysis. **Results.** The research is aimed at creating dynamic models of structures suitable for calculating earthquake resistance. Determination of the expected amplitudes of displacements, internal forces and stresses in the structure during its oscillations under the action of dynamic load, i.e. in case of forced vibrations and their comparison with acceptable values are the main content of the dynamic calculation of the structure. The permissible values of the amplitudes of internal forces are determined by the requirements of strength and durability of building structures. To determine the dynamic parameters of buildings and the possibility of using methods for calculating structures using pulsed transfer functions, statistical methods have been developed for solving inverse problems to restore such transfer functions on the basis of engineering-seismometric information. An analysis of the input and (base, foundation) and output (cover, overlap) processes recorded at the engineering-seismometric stations allows determining the impulse transfer functions, and then solving the given integral equations. **Practical significance.** The proposed methodology for constructing dynamic models of structures based on engineering-seismometric information allows us to develop both deterministic and statistical dynamic models of structures and use them in calculations of structures for earthquake resistance based on deterministic and statistical approaches.

Keywords: dynamic model, engineering-seismometric information, frequencies of free vibrations, attenuation coefficient, histogram, deformation, earthquake, displacement, identification problem.

For citation: Mamaev S.A., Dorofeev V.M., Mamaev A.S. Determination of dynamic parameters of models of buildings and structures based on engineering seismometric information. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(4):111-125. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493.

Введение

Повышение экономичности сейсмостойкого строительства и надежности поведения сооружений при землетрясениях в значительной степени зависит от адекватности расчетной модели сооружения и реальной работы конструкции. Создание новых конструктивных решений при проектировании сооружений должно, прежде всего, опираться на соответствующее изменение в расчетных моделях сооружений, а также на создание новых моделей, которые более точно описывают реальную работу конструкций.

Для создания и идентификации новых расчетных моделей используют различные методы моделирования реальных сооружений, а также натурные испытания. Однако наиболее точную и полную картину о поведении здания при реальном сейсмическом воздействии можно получить только при помощи информации, получаемой на станциях инженерно-сейсмометрической службы, т.к. только в

этом случае можно получить данные о реакции реального сооружения на воздействие, при которой конструкции могут испытывать предельные состояния.

Идентификация расчетных моделей сооружений в свою очередь является не простой задачей, т.к. ее решение приводит к классу некорректно поставленных задач, что требует дополнительной, в общем-то, произвольной, информации, а также в связи с необходимостью идентификации все более сложного класса моделей. В последнее время ряд авторов в своих расчетах использовали статистические расчетные модели сооружений, что, как ожидается, позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации подобных расчетных моделей практически отсутствуют.

В настоящей работе дается довольно простой инженерный метод идентификации расчетных моделей сооружений на основе информации инженерно-сейсмометрических данных, позволяющей строить как детермированные, так и статистические модели.

Теория построения моделей

Идентификация моделей механических объектов сводится к определению параметров некоторого операторного уравнения, описывающего поведение объекта:

$$Y = L(\alpha, \beta, \gamma, \dots) X, \quad (1)$$

где X – входное воздействие;

Y – выходной сигнал;

L – оператор известной структуры;

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$, – коэффициенты оператора L , определение которых и ставится задачей параметрической идентификации.

Как известно, задача идентификации является обратной задачей прикладной механики и относится к классу некорректно поставленных задач [Тихонов, Арсенин, 1969].

Некорректность постановки решаемой задачи обуславливается следующими соображениями:

1) неадекватность математической модели и реального объекта, т.е. принятая нами модель, в принципе, не может описать все особенности поведения реального объекта (в нашем случае строительной конструкции),

2) невозможность получения истинной картины о поведении объекта, т.к. в любом случае мы получаем ограниченное количество экспериментальной информации подверженной ошибкам.

При решении некорректных задач приходится использовать дополнительную информацию (ограничения) о характере искомого решения. Использование дополнительной информации количественного характера приводит к понятию квазирешения [Тихонов, Арсенин, 1969; Иванов, 1962, 1963]. В случае использования дополнительной информации качественного характера (например, гладкость решения и т.д.) вводится понятие регуляризованного решения [Тихонов, Арсенин, 1969; Тихонов, 1963а, б].

Частным примером механического объекта является сооружение, модель которого можно представить в виде многомассового осциллятора (рис. 1).

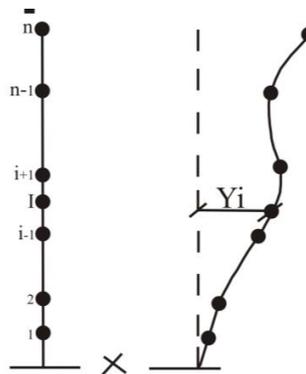


Рис. 1. Мномомассовый осциллятор. /
Fig. 1. Multi-mass oscillator.

Движение подобной, модели может быть описано уравнением:

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [C] \{\dot{Y}\} + [K] \{Y\} = -[M] \{1\} \ddot{X}, \quad (2)$$

где $[M]$ – матрица масс (обычно диагональная);

$[C]$ – матрица вязкого сопротивления;

$[K]$ – матрица жесткостей;

$\{\ddot{Y}\}$, $\{\dot{Y}\}$, $\{Y\}$ – векторы матрицы относительного ускорения, скорости и перемещения соответственно;

$\{1\}$ – единичный вектор. $\{1\} = \{1, 1, \dots, 1\}$.

Умножая обе части уравнения (2) на $[M]^{-1}$, получим

$$\{\ddot{Y}\} + [C^*] \{\dot{Y}\} + [K^*] \{Y\} = -\ddot{X} \{1\}, \quad (3)$$

где $[C^*] = [M]^{-1} \cdot [C]$, $[K^*] = [M]^{-1} \cdot [K]$.

Существует достаточно много инженерных методов определения параметров модели, описываемой уравнением (3). Большинство из них определяют квазирешения, в качестве дополнительной информации выбирая некоторый функционал (целевую функцию). Решением поставленной задачи являются те коэффициенты, которые минимизируют эту целевую функцию. Надо отметить, что минимизация целевой функции может происходить, как во временной [Дейч, 1979; Cifuentus, 1984], так и в частной [Дейч, 1979; Редько и др., 1985; Цейтлин, Атаев, 1975; Conde, 1972; Masri, 1973; Backus, Gilbert, 1967; Jackson, 1972; Jupp et al., 1971; Barbat, Canet, 1994; Chopra, 1996; Craig, 1981] областях. Однако при использовании этого метода до сих пор не преодолены определенные трудности, связанные, прежде всего, с выбором критерия подобия модели и объекта (целевой функции), а также построением вычислительной процедуры, устойчивой к локальным минимумам.

В последнее время авторами был предложен довольно простой инженерный метод определения параметров модели, использующий идеи, как метода квазирешений, так и регуляризованных решений [Денисов и др., 1967, 1983, Мамаев, 1991; Denisov et al., 1986, 1990].

Будем искать все такие значения коэффициентов $[C_{ij}^*]$ и $[K_{ij}^*]$, элементов матриц $[C^*]$ и $[K^*]$ соответственно, которые удовлетворяют в какой-то момент времени уравнению

$$\{\ddot{Y}\} + [C^*] \{\dot{Y}\} + [K^*] \{Y\} = -\ddot{X} \{1\} \quad (4)$$

где $\{\ddot{Y}\}$, \ddot{X} – значения выходного и входного сигнала, отличающемся от величин $\{Y\}$ и X , так что

$$\rho_Y(\{\ddot{Y}\} - \{Y\}) < \delta; \quad \rho_X(\ddot{X} - X) < \delta, \quad (5)$$

где δ – ошибка измерений;

$\rho_Y(\dots)$ – выбранная норма пространства векторов $\{Y\}$;

$\rho_X(\dots)$ – выбранная норма пространства X .

Из анализа этой области в каждый конкретный момент времени, совокупности полученных областей, с привлечением дополнительной информации количественного и качественного характера, и определяются искомые параметры.

Действительно, если на сооружении, модель которого описывается уравнением (3), производить регистрацию кинематических параметров движения в местах сосредоточения масс и на фундаменте, то, подставив значения этих кинематических величин в $2n^2 + 1$ моменты времени в (3), и представляя матричное уравнение как систему уравнений, получим систему $2n^2 + 1$ алгебраических уравнений для определения $2n^2 + 1$ неизвестных c^*_{ij} , k^*_{ij} (c^*_{ij} и k^*_{ij} – элементы матриц $[C^*]$ и $[K^*]$ соответственно):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 c_{11_1}^* \dot{y}_1 + c_{12_1}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{1n_1}^* \dot{y}_n + k_{11_1}^* y_1 + k_{12_1}^* y_2 + \dots + k_{1n_1}^* y_n = -_1 \ddot{Y}_1 \\
 c_{21_1}^* \dot{y}_1 + c_{22_1}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{2n_1}^* \dot{y}_n + k_{21_1}^* y_1 + k_{22_1}^* y_2 + \dots + k_{2n_1}^* y_n = -_1 \ddot{Y}_2 \\
 \dots \\
 c_{n1_1}^* \dot{y}_1 + c_{n2_1}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{nn_1}^* \dot{y}_n + k_{n1_1}^* y_1 + k_{n2_1}^* y_2 + \dots + k_{nn_1}^* y_n = -_1 \ddot{Y}_n \\
 \dots \\
 c_{11_d}^* \dot{y}_1 + c_{12_d}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{1n_d}^* \dot{y}_n + k_{11_d}^* y_1 + k_{12_d}^* y_2 + \dots + k_{1n_d}^* y_n = -_d \ddot{Y}_1 \\
 c_{21_d}^* \dot{y}_1 + c_{22_d}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{2n_d}^* \dot{y}_n + k_{21_d}^* y_1 + k_{22_d}^* y_2 + \dots + k_{2n_d}^* y_n = -_d \ddot{Y}_2 \\
 \dots \\
 c_{n1_d}^* \dot{y}_1 + c_{n2_d}^* \dot{y}_2 + \dots + c_{nn_d}^* \dot{y}_n + k_{n1_d}^* y_1 + k_{n2_d}^* y_2 + \dots + k_{nn_d}^* y_n = -_d \ddot{Y}_n
 \end{array} \right. \quad (6)$$

где ${}_e \ddot{Y}_i = {}_e \ddot{x}_i + {}_e \ddot{y}_i$, $d = 2n$, а индекс слева у величин ${}_e Y_i$, ${}_e \dot{y}_i$, ${}_e \ddot{y}_i$, ${}_e \ddot{x}_i$, ${}_e \ddot{Y}_i$ обозначает порядковый номер момента времени, для которого взяты эти величины.

Учитывая, что вместо величин $\{y\}$ в результате инженерно-сейсмометрических наблюдений получены величины $\{\tilde{y}\}$, удовлетворяющие неравенству (5), т.е. вместо $y_i, \dot{y}_i, \ddot{y}_i, \ddot{x}_i, \ddot{Y}_i$ мы имеем, соответственно, $y_i \pm \delta y_i, \dot{y}_i \pm \delta \dot{y}_i, \ddot{y}_i \pm \delta \ddot{y}_i, \ddot{x}_i \pm \delta \ddot{x}_i, \ddot{Y}_i \pm \delta \ddot{Y}_i$, где $\delta y_i, \delta \dot{y}_i, \delta \ddot{y}_i, \delta \ddot{x}_i, \delta \ddot{Y}_i$ – предполагаемые ошибки определения соответствующих величин, а из системы уравнений (6) мы можем получить следующую систему алгебраических неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \sum_j^n [\max (c_{ij}^* \dot{y}_j + \max (k_{ije}^* y_j))] \leq \max (-_e \ddot{Y}_i) \\
 \sum_j^n [\min (c_{ij}^* \dot{y}_j + \min (k_{ije}^* y_j))] \geq \min (-_e \ddot{Y}_i) \\
 i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, 2n
 \end{array} \right. \quad (7)$$

Система неравенств (7) определяет множество Q_δ (δ – ошибка определения исходных данных) всех возможных решений системы (6). Для того, чтобы возможно было устойчивое исследование области, определяемой системой (7), необходимо привлечь дополнительную информацию о характере элементов матриц $[c^*]$, $[k^*]$. Это может быть следующая система неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \underline{k}_{ij}^* \leq k_{ij}^* \leq \tilde{k}_{ij}^* \\
 \underline{c}_{ij}^* \leq c_{ij}^* \leq \tilde{c}_{ij}^*
 \end{array} \right. \quad (8)$$

где $\underline{k}_{ij}^*, \tilde{k}_{ij}^*, \underline{c}_{ij}^*, \tilde{c}_{ij}^*$ – минимальное и максимальное значение соответствующих коэффициентов, определение которых возможно, исходя из предварительного изучения свойств сооружения и из опыта.

Чтобы упростить систему (7), воспользуемся следующими соображениями. Рассмотрим систему, представленную на рисунке (1), а также воспользовавшись свойствами и физическим смыслом матрицы жесткости $[K]$ этой системы, можно определить знак элементов этой матрицы:

$$sign(k_{ij}) = (-1)^{i+j} \quad (9)$$

а, следовательно, если предположить что матрица $[M]$ – диагональная или близка к этому виду (т.е. по отношению к диагональным элементам все остальные достаточно малы), то

$$\text{sign}(k_{ij}^*) = (-1)^{i+j} \quad (10)$$

Предположим, что так как коэффициенты c_{ij} имеют ту же силовую природу, что и k_{ij} , скорость i -той массы оказывает на j -тую такое же влияние как и соответствующие перемещения, т.е.

$$\text{sign}(c_{ij}^*) = \text{sign}(k_{ij}^*) = (-1)^{i+j}. \quad (11)$$

Используя гипотезу (11), а также объединяя системы (7) и (8) получим:

$$\begin{cases} \sum_j^n [|c_{ij}^*|_{\max} ((-1)^{i+j} Y_j) + [|k_{ij}^*|_{\max} ((-1)^{i+j} Y_j)]] \leq_{\max} (-\ddot{Y}_i) \\ \sum_j^n [|c_{ij}^*|_{\min} ((-1)^{i+j} Y_j) + [|k_{ij}^*|_{\min} ((-1)^{i+j} Y_j)]] \geq_{\min} (-\ddot{Y}_i) \\ \underline{k}_{ij}^* \leq k_{ij}^* \leq \tilde{k}_{ij}^* \\ \underline{c}_{ij}^* \leq c_{ij}^* \leq \tilde{c}_{ij}^*, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, 2n. \end{cases} \quad (12)$$

Решая задачу линейного программирования, минимизируя последовательно функционалы $L = \pm |c_{ij}^*|$, $L = \pm |k_{ij}^*|$ по области, определяемой системой неравенств (12), получим предельные границы области Q_δ (предельные возможные значения величин c_{ij}^* , k_{ij}^*).

В результате получаем систему интервалов c_{ij}^* и k_{ij}^* , внутри которых заключены значения этих коэффициентов, удовлетворяющие системе (6) при условии (5). Повторяя описанную процедуру для других моментов времени, получаем систему интервалов $\{c_{ij} \pm \delta c_{ij}\}$, $\{k_{ij} \pm \delta k_{ij}\}$. На основе этих интервалов можно построить гистограммы, представляющие собой значения количества попаданий искомой величины в некоторый промежуток (рис. 3). Этим гистограммам можно придать смысл плотности вероятности распределения k_{ij} и c_{ij} . На основе таких гистограмм можно построить как статистическую модель, так и детерминированную.

Получаемые, таким образом, коэффициенты k_{ij}^* и c_{ij}^* полностью описывают поведение модели, интегрируя всю сложность работы сооружения: нелинейность, пространственность, качение и др. эффекты. В то же время k_{ij}^* и c_{ij}^* полностью описывают текущее состояние модели независимо от того, как модель пришла в это состояние.

Если ограничиться простейшим случаем, когда модель сооружения представлена в виде одномассового осциллятора (рис. 2) и описывается следующим уравнением:

$$\ddot{y} + 2\varepsilon\omega_0\dot{y} + \omega_0^2 y = -\ddot{x}, \quad (13)$$

где \ddot{y} , \dot{y} , y , – относительное ускорение, скорость и перемещение сосредоточенной массы соответственно;

ω_0 – частоты свободных колебаний системы;

ε – коэффициент затухания системы (в % от критического),

то в этом примере систему (12) можно разрешить и написать в замкнутом виде:

$$\begin{cases} \sqrt{\min \frac{p_2}{p_3}} \leq \omega_0 \leq \sqrt{\max \frac{p_2}{p_3}}, \\ \frac{\min \frac{p_1}{p_3}}{2 \cdot \sqrt{\max \frac{p_2}{p_3}}} \leq \varepsilon \leq \frac{\min \frac{p_1}{p_3}}{2 \cdot \sqrt{\min \frac{p_2}{p_3}}}, \\ \omega_{\min} \leq \omega_0 \leq \omega_{\max}, \\ \varepsilon_{\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max}, \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= y_1(\ddot{x}_2 + \ddot{y}_2) - y_2(\ddot{x}_1 + \ddot{y}_1) \\
 \text{где} \quad P_2 &= \dot{y}_2(\dot{x}_1 + \dot{y}_1) - \dot{y}_1(\dot{x}_2 + \dot{y}_2) \\
 P_3 &= \dot{y}_1\ddot{y}_2 - \dot{y}_2\ddot{y}_1.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

При идентификации конкретных моделей использовалась связь между собственной частотой колебаний и собственным периодом:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \tag{16}$$

и строились гистограммы для параметров T и ε , на основе которых получали те или иные модели.

Представленная методика позволяет выявить также и некоторые особенности работы сооружений:

- нелинейность – если рассматривать зависимость параметров c_{ij}^* и k_{ij}^* от величин входного воздействия или реакции;
- деградация жесткости элементов конструкции - если рассматривать параметры k_{ij}^* в зависимости от участка записи;
- пространственный характер работы сооружения - если рассматривать изменение коэффициента c_{ij}^* и k_{ij}^* в зависимости от направления относительного смещения.

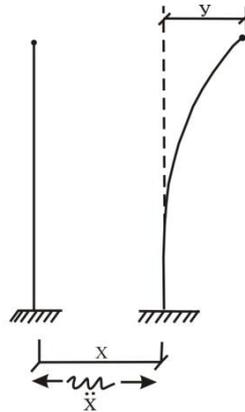


Рис. 2. Одномассовый осциллятор. /
Fig. 2. Single-mass oscillator.

Одним из достоинств, представленного метода, является возможность создания статистических моделей сооружений, создание которых становится актуальной задачей теории сейсмостойкости.

Имея, описанные выше гистограммы собственных периодов (в случае одномассовой модели) для различных интервалов смещения, можно определить параметры плотности вероятности F_T для каждого интервала. Анализ этих плотностей позволяет определить плотность вероятности $F_T(y)$ в зависимости от y . Затем для каждого уровня интенсивности y , задаются конкретные периоды собственных колебаний, и для них строят гистограммы коэффициентов затухания. Для каждого уровня интенсивности находим зависимость плотности вероятности коэффициентов затухания F_ε от собственного периода, т.е. $F_\varepsilon(T)$. Имея зависимости $F_\varepsilon(T)$ для различных интервалов смещения y , можно определить зависимость плотности вероятности коэффициента затухания как от T , так и от y , т.е. можем найти $F_\varepsilon(T, y)$.

Таким образом, получаем статистическую динамическую модель сооружения (для одномассового осциллятора) в виде двух связанных статистических законов $F_T(y)$ и $F_\varepsilon(T, y)$, описывающих изменение динамических параметров сооружения во время землетрясения.

Примеры моделирования

Детерминированный случай.

Описанным методом определялись модели пятиэтажного крупнопанельного жилого здания в г. Петропавловске-Камчатском, на котором были получены записи кинематических параметров фундамента и покрытия при землетрясении 2 декабря 1977 г. (интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64) в двух направлениях и 21 декабря 1977 г. (интенсивностью 4 балла) в направлении короткой оси здания. Условимся в дальнейшем короткую ось здания называть осью X, а длинную – осью Y.

Были построены гистограммы для коэффициентов T и \mathcal{E} в зависимости от величины относительного смещения покрытия y . Пример полученных гистограмм для коэффициента T приведен на рисунке 3.

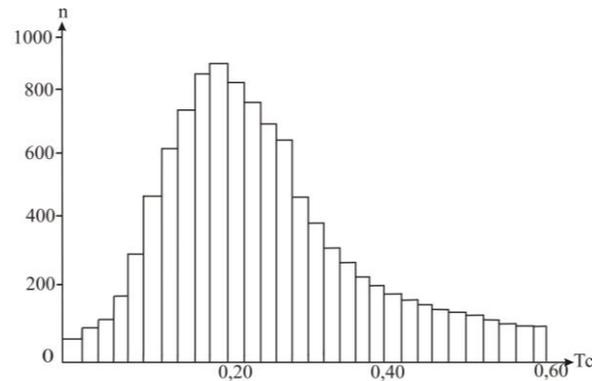


Рис. 3. Гистограмма для периода собственных колебаний. /

Fig. 3. The histogram for the period of natural oscillations

На основе максимальных значений вычисленных гистограмм была найдена зависимость периода собственных колебаний T от величины смещения покрытия относительно фундамента y (рис. 4).

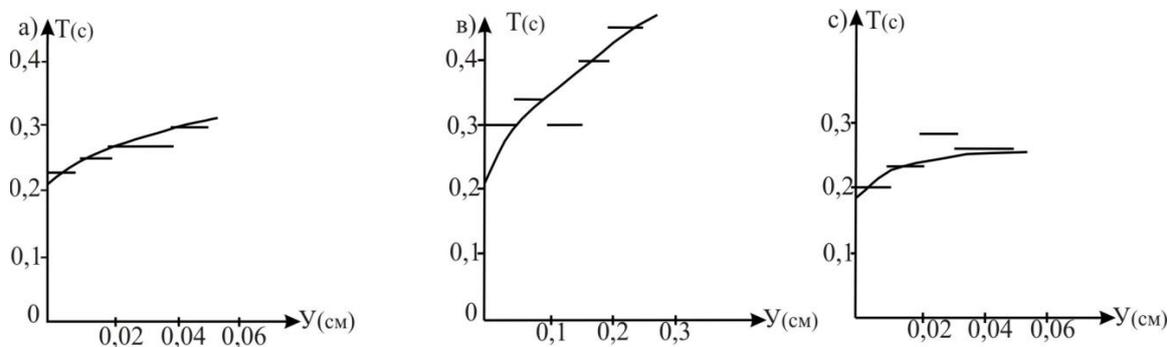


Рис. 4. Зависимости периода T от y для: а) землетрясения 21.12.77 ось X;

б) землетрясения 2.12.77, ось X; в) землетрясения 2.12.77, ось Y. /

Fig. 4. The dependence of the period T from y for:

a) earthquake 12/12/77 axis X; b) the earthquake of 2.12.77, the X axis; c) the earthquake of 2.12.77, the U axis.

Представленные экспериментальные данные аппроксимировались зависимостью вида

$$T = ay^b + c.$$

В результате получены следующие выражения:

$$\begin{aligned} T &= 0,594|y|^{0,654} + 0,21, \\ T &= 0,189|y|^{0,399} + 0,19, \end{aligned} \quad (17)$$

для оси X и Y, соответственно.

Для данного здания были получены значения периода собственных колебаний T экспериментальным путем с помощью оттяжки и последующего резкого сброса нагрузки (так называемый ме-

тод оттяжки), что до сих пор является наряду с параметрами, полученными в результате вычислений, исходными данными при расчете сооружений на сейсмическое воздействие:

($T=0,23$ с. для оси X и $T=0,22$ с. для оси Y).

Из сравнения этих результатов видно, что значения, получаемые «методом оттяжки», являются фактически начальными параметрами для выражений (17). Тогда, как видно из (17), с возрастанием амплитуд колебаний, период собственных колебаний здания увеличивается, что ведет к фактическому снижению нагрузки при расчете сооружений по СНиП за счет уменьшения величины коэффициента динамичности β . Таким образом, уже при малых сейсмических нагрузках при землетрясениях силой 4-5 баллов, работа сооружения является нелинейной, и период собственных колебаний, фактически, в значительной степени зависит от их амплитуды.

Исходные данные, по которым строились модели, обладают сильными шумами, что в первую очередь сказывается при определении коэффициента ε , т.к. ошибка в определении этого параметра сравнима с самой величиной ε .

Поэтому при нахождении реакции модели предполагалось, что коэффициент вязкого затухания ε изменяется в пределах от 2% до 15% от критического. Эта величина, полученная при испытаниях «методом оттяжки» была равна соответственно 5,6% и 3,2% для осей X и Y. Для сравнения были вычислены реакции следующих моделей:

1) линейной с коэффициентами, полученными «методом оттяжки»;

$T=0,23$ с. $\varepsilon=0,056$ для оси X и

$T=0,22$ с. $\varepsilon=0,032$ для оси Y.

2) линейной так называемыми «эффективными» коэффициентами, т.е. такими, которые соответствуют максимальным отклонениям здания от оси и наилучшим образом должны описывать состояние объекта в точках максимального отклонения сооружения от оси, без учета предыстории загрузки;

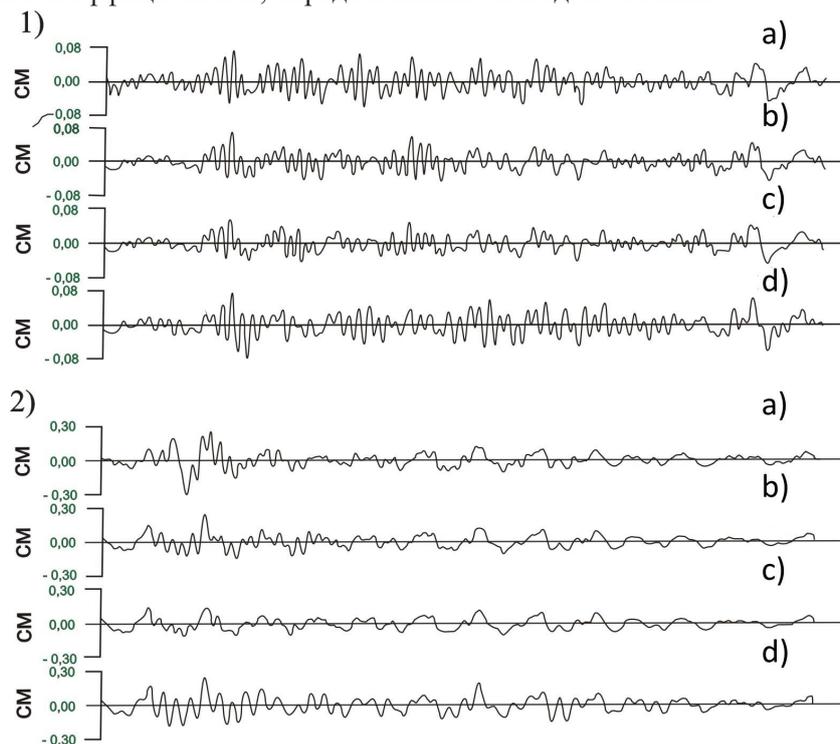
$T=0,30$ с., $\varepsilon=0,04$ – при воздействии силой 4 балла,

$T=0,40$ с., $\varepsilon=0,056$ – при воздействии силой 5 баллов для оси X и

$T=0,25$ с., $\varepsilon=0,10$ – при воздействии силой 5 баллов для оси Y.

3) нелинейная модель с представленными выше зависимостями периода T от относительного смещения модели.

Вычисленные реакции в виде смещения описанных моделей и записи смещений, полученной на покрытии, представлены на рисунке 5. Как видно из рисунка, наибольшим сходством с записью на покрытии обладает смещение нелинейной модели и хуже остальных описывает эту запись реакция линейной модели с коэффициентами, определенными «методом оттяжки».



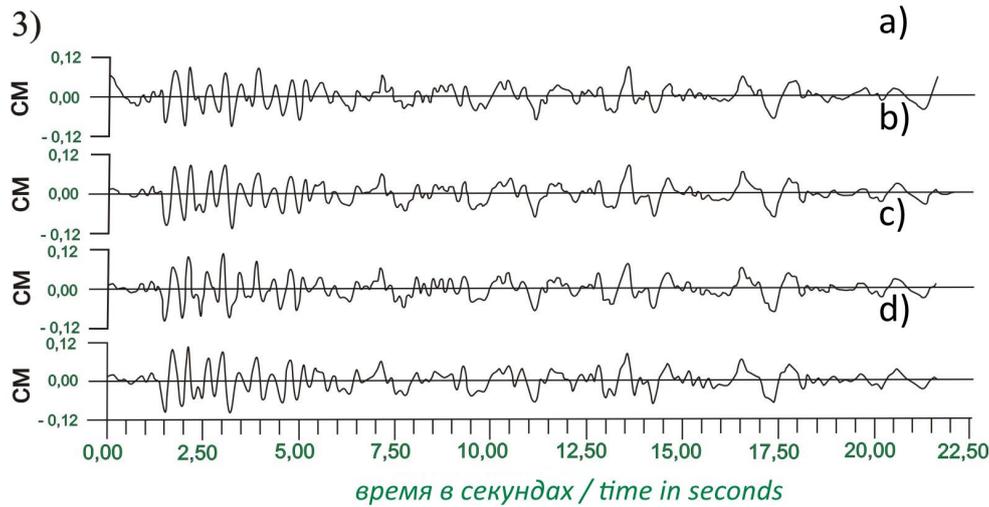


Рис. 5. Графики смещений, полученные для землетрясений: 1) 21.12.1977, ось X; 2) 2.12.1977, ось X; 3) 2.12.1977, ось Y; a) запись на покрытии сооружения, b) реакция нелинейной модели (на основе предложенного метода) c) реакция линейной модели с параметрами, полученными «методом оттяжки»; d) реакция линейной модели с «эффективными». Коэффициентами. /

Fig. 5. Graphs of displacements obtained for earthquakes: 1) 12/21/1977, X axis; 2) 12.12.1977, X axis; 3) 2.12.1977, the U axis; a) a record on the surface of the structure, b) the response of a non-linear model (based on the proposed method) c) the reaction of a linear model with parameters obtained by the “drawdown method”; d) the reaction of a linear model with “effective” coefficients.

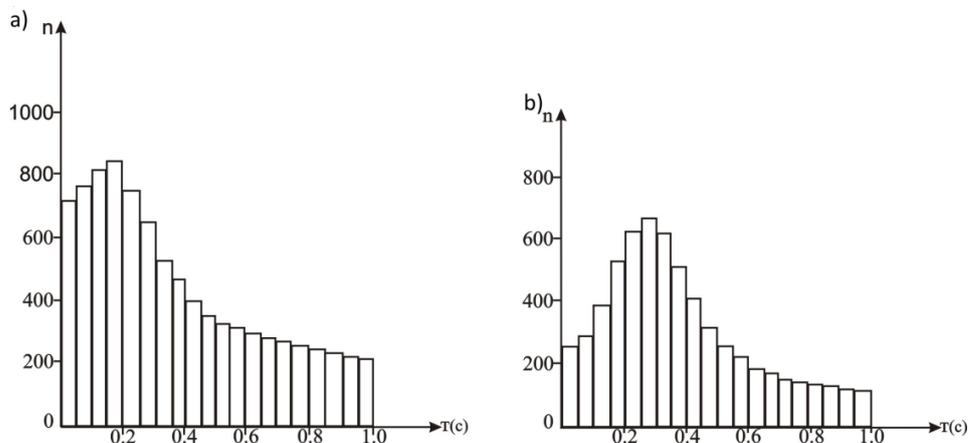
Была также предпринята попытка на основе гистограмм, аналогичных изображению на рисунке 3, построить статистическую динамическую модель сооружения. На рисунке 6 представлены анализирувавшиеся гистограммы для воздействия силой 5 баллов. Анализ этих гистограмм позволяет сделать вывод, о том, что они могут быть для каждого уровня интенсивности описаны с помощью нормального закона

$$F_T = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_T} e^{-\frac{(x-\mu_T)^2}{2\sigma_T^2}}, \quad (18)$$

причем μ_T и σ_T , определяющие в каждом таком случае соответствующий нормальный закон распределения в зависимости от y могут быть описаны выражениями:

$$\mu_T(y) = ay^b + c \quad \text{и} \quad \sigma_T(y) = ey + d, \quad (19)$$

где $a=0,594$, $b=0,654$, $c=0,21$, $e=0,45$, $d=0,07$ (для рис. 6).



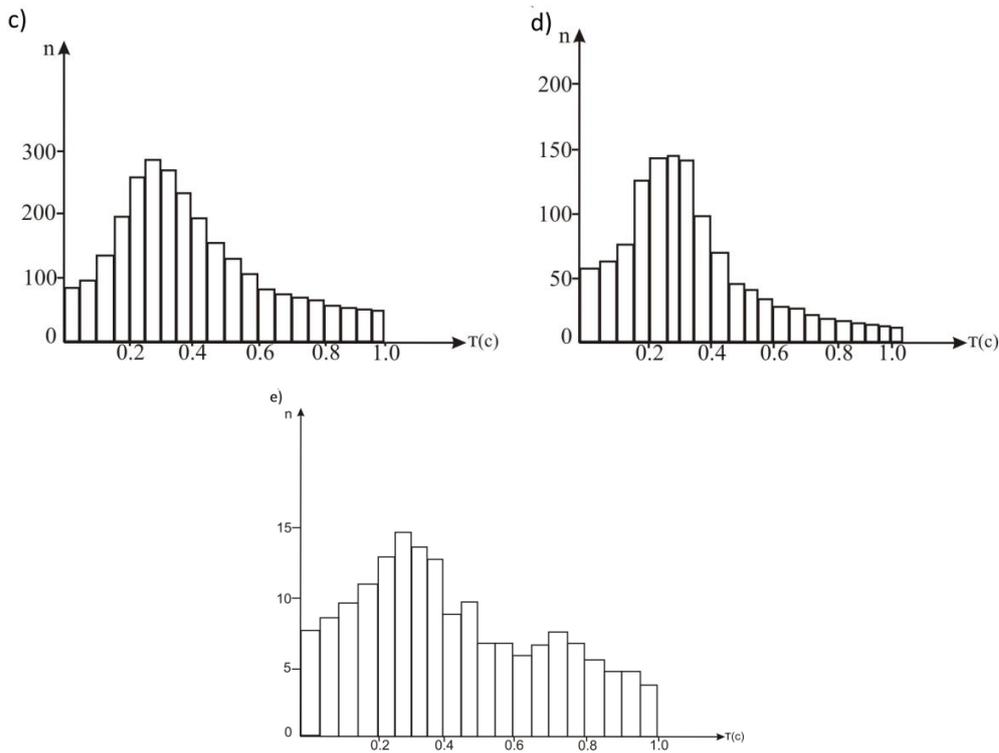


Рис. 6. Гистограммы для периодов собственных колебаний при разных уровнях деформаций y (см) для землетрясения 2.12.77 г., интенсивностью 5 баллов, ось Y : а) $0,0 < y \leq 0,01$; б) $0,01 < y \leq 0,02$; в) $0,02 < y \leq 0,03$; д) $0,03 < y \leq 0,04$; е) $0,04 < y \leq 0,05$.

Fig. 6. Histograms for periods of natural oscillations at different deformation levels y (cm) for an earthquake of 2.12.77, with an intensity of 5 points, the Y axis: а) $0.0 < y \leq 0.01$; б) $0.01 < y \leq 0.02$; в) $0.02 < y \leq 0.03$; д) $0.03 < y \leq 0.04$; е) $0.04 < y \leq 0.05$.

Таким образом, для статистического описания изменения собственного периода осциллятора, в зависимости от y , получаем на основе выражений (18) и (19) закон $F_T(y)$.

Анализ гистограмм построенных для коэффициента затухания с учетом работы [Денисов и др., 1983] по тем же данным указывает на то, что в области реальных значений коэффициента затухания его распределение соответствует также нормальному закону и что его среднее значение и дисперсия в зависимости от T и y могут быть описаны выражениями:

$$\mu_\epsilon(T, y) = (0,42 e^{-20y} + 0,35) T, \tag{20}$$

$$\sigma_\epsilon(T, y) = 0,08 T^2. \tag{21}$$

Следует отметить, что по анализировавшимся исходным данным получено, что дисперсия σ_ϵ не зависит от уровня деформации. Таким образом, для статистического описания поведения сооружения может быть использована статистическая модель с нормальными законами распределения $F_T(y)$, $F_\epsilon(T, y)$ и значениями параметров, описываемыми выражениями (20) и (21).

Для реализации описанных выше статистических динамических моделей, строятся нестационарные статистические модели сейсмических воздействий [Дорофеев и др., 1990; Мамаев, 1991, 2003; Мамаев, Дорофеев, 2002; Савович, 2005; Dorofeev et al., 1990]. Таким образом, изложенная практическая методика построения статистических динамических моделей зданий или сооружений и сейсмических воздействий позволит вывести расчеты зданий на сейсмостойкость с обоснованием надежности полученных расчетов. Для получения статистических данных по идентификации динамических характеристик и сейсмических нагрузок для зданий и сооружений по акселерограммам землетрясений, конечно же, надо восстановить инженерно-сейсмометрическую службу [Гурьев и др., 2018; Дорофеев и др., 2003; Таймазов и др., 2013; Черкашин и др., 2003]. В последнее время сотрудниками института исследуются динамические параметры грунта геофизическими методами [Мамаев, 2006, 2011; Мамаев и др., 2017, 2018, 2019]. Стационарные инженерно-сейсмометрические станции

с грунтовыми точками решали многие задачи в сейсмостойком строительстве, в том числе задачи сейсмического микрорайонирования городов и крупных населенных пунктов.

Заключение

Предложенная в работе методика построения динамических моделей сооружения на основе инженерно-сейсмометрической информации позволяет строить как детерминистские, так и статистические динамические модели сооружений и использовать их в расчетах сооружений на сейсмостойкость, основанных на детерминистских и статистических подходах. Подобная методика применима и для экспериментальных исследований сооружений с использованием динамических испытаний. Особенно актуальна эта методика в современное компьютеризованное время, когда всю информацию поведения здания или сооружения полностью в цифровом пространственном виде можно использовать при расчетах на сейсмостойкость, что позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации подобных расчетных моделей практически отсутствуют.

Литература

1. Гурьев В.В., Дорофеев В.М., Дмитриев А.Н., Панкратов Е.П., Лепешкина Е.А. Об экономических проблемах и механизмах реновации и реконструкции пятиэтажной застройки. // Экономика строительства. – 2018. – №1(49). – С. 3–17.
2. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
3. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М. и др. Инженерно-сейсмометрическая служба СССР. – М.: Наука, 1967. – 367 с.
4. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М., Погосян О.К. Определение динамических характеристик строительных конструкций по данным инженерно-сейсмометрических станций. // Известия АН Арм. ССР, серия технических наук. – 1983. – №6. Т. XXXV. – С. 47–50.
5. Дорофеев В.М., Дорофеева Л.Н., Мамаев С.А. Модель 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений с эффективной длительностью около 10 с. // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №4. – С. 42–47.
6. Дорофеев В.М., Федоров Н.Н., Сурков В.И., Курзанов А.М. О мониторинге технического состояния зданий. // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – №11. – С. 31–32.
7. Иванов В.К. О линейных некорректных задачах. // ДАН СССР. – 1962. – Т.145(2), - С. 170–172.
8. Иванов В.К. О некорректно поставленных задачах. // Мат. Сборник. – 1963. – 6(2). – С. 211–223.
9. Мамаев С.А. Оценка статистической динамической модели здания и статистической модели сейсмического воздействия на основе инженерно-сейсмометрической информации. // Дисс. на соискания ученой степени к.т.н. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. – 1991. – 145 с.
10. Мамаев С.А. Численное статистическое моделирование сейсмических воздействий. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №15. – С. 35–44.
11. Мамаев С.А. Экспериментальные исследования динамических свойств грунтов геофизическими методами и их инженерно-геологическая интерпретация при уточнении сейсмичности площадки строительства. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 222–230.
12. Мамаев С.А. Исследование динамических свойств грунтов геофизическими методами при уточнении сейсмичности площадки строительства. // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН и РСО-А. / Гл. редактор Заалишвили В.Б. – Владикавказ. – 2011. – С. 320–331.
13. Мамаев С.А., Дорофеев В.М. Численное статистическое моделирование 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2002. – №48. – С. 97–103.
14. Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Абдулатипов А.М., Мамаев А.С. Методы определения параметров динамических моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №78. – С. 17–29.
15. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Мамаев А.С. Применение

электронных баз данных в геологических исследованиях. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №4. – С. 104–116.

16. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Мамаев А.С., Маммаева Ж.А. К вопросу перевода прогноза землетрясений на количественную основу. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2017. – №71. – С. 68–71.

17. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. – Киев: Наукова Думна, 1985. – 215 с.

18. Савович М.К. Динамический расчет каркасных зданий: Учебное пособие. – Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2005. – 31 с.

19. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2013. – №51. – С. 36–42.

20. Тихонов А.П. О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации. // ДАН СССР. – 1963а. – Т. 151(3). – С. 501–504.

21. Тихонов А.П. О регуляризации некорректно поставленных задач. // ДАН СССР. – 1963б. – Т. 153(3). – С. 49–52.

22. Тихонов А.Н., Арсенин В.Д. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1969. – 285 с.

23. Цейтлин А.И., Атаев М. Определение характеристик сооружений по результатам динамических испытаний. // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – №6.

24. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И., Магомедов Р.А., Мамаев С.А., Никуев Р.Ю. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №14. – С. 25–37.

25. Backus G., Gilbert P, Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems. // Geophys. J.R.Ast. Soc. – 1967. V. 3. – Pp. 247–276.

26. Barbat A.H., Canet J.M., Estructuras sometidas a acciones sismicas, Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria. – Barcelona. – 1994.

27. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. – Prentice Hall. – 1996.

28. Cifuentus O.A. System identification of hysteretic structure, BBRL 84-04. – Pasadena. – 1984.

29. Conde F.F. Seismic structures / F.F. Conde // International Simposium FIP. – Tbilisi. – 1972. – Pp. 655–663.

30. Craig R.R. Structural dynamics, An introduction to Computer methods, John Wiley & Sons. – New York. – 1981.

31. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Mamaev G.V., Shumicheva O.V. Analysis of the structural performance based on engineering-seismometric information. // Proceedings of eighth European conference on earthquake engineering. – Lisbon. – 1986.

32. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Zeldin B.A., Mamaev S.A., Shumicheva O.V. Method of parameter determination of dynamic structure models based on engineering-seismometric data. // Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. – 1990. – Vol. 8. – Pp. 321–332.

33. Dorofeev V.M., Dorofeev L.N., Mamaev S.A., Rusol E.I. Statistical modeling of seismic effects for earthquake-resistant of structures. // Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. – 1990. – Vol. 4. – Pp. 140–151.

34. Jackson D.D. Interpretation of inaccurate, insufficient and inconsistent data. // Geophys. J.R. Ast. Soc. – 1972. – V. 28 (2). – Pp. 97–109.

35. Jupp D.L.B., Vosoff K. Stable iterative methods for the inverse problem in geophysics. // Proc. Nat. acad. Sei. – 1971. – V. 68 (2). – Pp. 291–293.

36. Masri S.F. Response of the impact damper to stationary random excitation / S.F. Masri, A.M. Ibrahim. // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1973. – V. 53. No. 1. – Pp. 200–211.

References

1. Guriev V.V., Dorofeev V.M., Dmitriev A.N., Pankratov E.P., Lepeshkina E.A. On economic problems and mechanisms of renovation and reconstruction of five-story buildings. Construction Economics. 2018. No. 1 (49). pp. 3–17. (In Russ.)

2. Deitsh A.M. Methods for identifying dynamic objects. Moscow. Energiya. 1979. 240 p. (In Russ.)
3. Denisov B.E., Dorofeev V.M. et al. Engineering-seismometric service of the USSR. Moscow. Nauka 1967. 367 p. (In Russ.)
4. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Poghosyan O.K. Determination of dynamic characteristics of building structures according to engineering seismometric stations. Bulletin of the Academy of Sciences of Arm. SSR, a series of technical sciences. 1983. No. 6. Vol. XXXY. pp. 47-50. (In Russ.)
5. Dorofeev V.M., Dorofeeva L.N., Mamaev S.A. Model of 7-point seismic effects for the far zone of earthquakes with an effective duration of about 10 s. Structural mechanics and calculation of structures. 1990. No. 4. pp. 42–47. (In Russ.)
6. Dorofeev V.M., Fedorov N.N., Surkov V.I., Kurzanov A.M. On monitoring the technical condition of buildings. Industrial and civil engineering. 2003. No. 11. pp. 31-32. (In Russ.)
7. Ivanov V.K. On linear incorrect problems. DAN of the USSR. 1962. Vol.145 (2). pp. 170–172. (In Russ.)
8. Ivanov V.K. About incorrectly posed tasks. Mat. Collection. 1963. No. 6(2). pp. 211–223. (In Russ.)
9. Mamaev S.A. The study of the dynamic properties of soils by geophysical methods to clarify the seismicity of the construction site. In: Seismic hazard and seismic risk management in the Caucasus Proceedings of the IV Caucasian International School-Seminar for Young Scientists. Center for Geophysical Research VSC RAS and North Ossetia-Alania. Vladikavkaz. 2011. pp. 320–331. (In Russ.)
10. Mamaev S.A. Assessment of the statistical dynamic model of the building and the statistical model of seismic impact based on engineering-seismometric information. Thesis for the degree of Ph.D. TSNIISK them. Kucherenko. Moscow. 1991. 145 p. (In Russ.)
11. Mamaev S.A. Numerical statistical modeling of seismic effects. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2003. No. 15. pp. 35–44. (In Russ.)
12. Mamaev S.A. Experimental studies of the dynamic properties of soils by geophysical methods and their engineering and geological interpretation in specifying the seismicity of the construction site. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2006. No. 50. pp. 222–230. (In Russ.)
13. Mamaev S.A., Dorofeev V.M. Numerical statistical modeling of 7-point seismic effects for the far zone of earthquakes. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2002. No. 48. pp. 97–103. (In Russ.)
14. Mamaev S.A., Dorofeev V.M., Abdulatipov A.M., Mamaev A.S. Methods for determining the parameters of dynamic models of buildings and structures based on engineering-seismometric information. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2019. No. 78. pp. 17–29. (In Russ.)
15. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Huseynova A.Sh., Kurbanismailova A.S., Mamaev A.S. The use of electronic databases in geological research. Geology and geophysics of the South of Russia. 2018. No. 4. pp. 104–116. (In Russ.)
16. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Mamaev A.S., Mammaeva Zh.A. On the issue of translating earthquake forecast on a quantitative basis. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2017. No. 71. pp. 68–71. (In Russ.)
17. Redko S.F., Ushkalov V.F., Yakovlev V.P. Identification of mechanical systems. Kiev: Naukova Dumna, 1985. 215 p. (In Russ.)
18. Savovich M.K. The dynamic calculation of frame buildings: a manual. Khanty-Mansiysk. RIC of SUSU. 2005. 31 p. (In Russ.)
19. Taymazov D.G., Mamaev S.A., Abakarov A.D., Taymazov M.D. On the state and prospects of the development of the seismic safety system of the territory of Dagestan. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2013. No. 51. pp. 36–42. (In Russ.)
20. Tikhonov A.N., Arsenin V.D. Methods for solving incorrect tasks. Moscow. Nauka, 1969. 285 p. (In Russ.)
21. Tikhonov A.P. On the regularization of incorrectly posed problems. DAN of the USSR. 1963b. Vol. 153 (3). pp. 49-52. (In Russ.)
22. Tikhonov A.P. On solving incorrectly posed problems and the regularization method. DAN of the USSR. 1963a. Vol. 151 (3). pp. 501-504. (In Russ.)
23. Tseytlin AI, Ataev M. Determination of the characteristics of structures according to the results of dynamic tests. Structural mechanics and calculation of structures. 1975. No. 6. (In Russ.)
24. Cherkashin V.I., Dorofeev V.M., Kraminin P.I., Magomedov R.A., Mamaev S.A., Nikuev R.Yu.

Organization of engineering-seismometric service in the Republic of Dagestan. *Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN.* 2003. No. 14. pp. 25–37. (In Russ.)

25. Backus G., Gilbert P, Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems. *Geophys. J.R. Ast. Soc.* 1967. Vol. 3. pp. 247-276.

26. Barbat A.H., Canet J.M., Estructuras sometidas a acciones sismicas, Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria. Barcelona. 1994.

27. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall. 1996.

28. Cifuentus O.A. System identification of hysteretic structure, BBRL 84-04. Pasadena. 1984.

29. Conde, F.F. Seismic structures. International Symposium FIP. Tbilisi, 1972. pp. 655-663.

30. Craig R.R, Structural dynamics. An introduction to Computer methods. John Wiley & Sons, New York. 1981.

31. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Mamaev G.V., Shumicheva O.V. Analysis of the structural performance based on engineering-seismometric information. Proceedings of eighth European conference on earthquake engineering. Portugal, Lisbon. 1986.

32. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Zeldin B.A., Mamaev S.A., Shumicheva O.V. Method of parameter determination of dynamic structure models based on engineering-seismometric data. Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. 1990. Vol. 8. pp. 321–332.

33. Dorofeev V.M., Dorofeev L.N., Mamaev S.A., Rusol E.I. Statistical modeling of seismic effects for earthquake-resistant of structures. Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. 1990. Vol. 4. pp. 140–151.

34. Jackson D.D., Interpretation of inaccurate, inaccurate, insufficient and inconsistent data. *Geophys. J.R. Ast. Soc.* 1972. Vol.28 (2). pp. 97-109.

35. Jupp D.L.B., Vosoff K., Stable iterative methods for the inverse problem in geophysics. *Proc. Nat. acad. Sei.* 1971. Vol. 68 (2). pp. 291-293.

36. S.F. Masri, A.M. Ibrahim Response of the impact damper to stationary random excitation. *The Journal of the Acoustical Society of America.* 1973. Vol. 53. No. 1. pp. 200-211.