

УДК 624.151

## Обратное влияние сооружений на движение грунта основания при сейсмических воздействиях

Леонид Викторович НУЖДИН<sup>1,2</sup>, кандидат технических наук, профессор, e-mail: nuzhdin\_ml@mail.ru

Виктор Сергеевич МИХАЙЛОВ<sup>3</sup>, руководитель Центра научно-технической поддержки «SCADSOFT Новосибирск» на базе ЗАО «СиСофт Новосибирск» и АНО ДПО ИАС, e-mail: vsmikhailov@mail.ru

Ирина Дмитриевна ЯНКОВСКАЯ<sup>4</sup>, инженер-конструктор, e-mail: i.jankovskaya@sipi38.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», 630008 Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990 Пермь, Комсомольский просп., 29

<sup>3</sup> Центр научно-технической поддержки «SCADSOFT Новосибирск», 630132 Новосибирск, ул. Нарымская, 23

<sup>4</sup> ООО «Сибирский проектный институт», 664047 Иркутск, ул. Байкальская, 105а

**Аннотация.** Цель представленной исследовательской работы – определение круга задач гражданского строительства, где необходим учет эффекта взаимодействия сооружения и основания в сейсмически активных районах строительства. Подобная проверка является обязательной согласно нормам атомной энергетики и может быть рекомендована при реализации комбинированного асимптотического метода для расчета платформенных моделей «сооружение–абсолютно жесткий фундамент–основание» в среде расчетного комплекса SCAD Office при проектировании объектов гражданского строительства. Полученные результаты численного исследования показывают необходимость учета обратного влияния колебаний сооружения на основание и гражданских объектов, и сооружений атомной промышленности. Обратное влияние здания приводит к изменению движения грунтового основания под фундаментной плитой по сравнению со свободным полем движения поверхности в тех же сейсмических условиях. Следовательно, акселерограммы, принимаемые в расчете, для 60 % рассмотренных случаев должны быть изменены по сравнению с акселерограммами свободного поля. Модифицированные акселерограммы должны учитывать соответствующее напряженное состояние массива грунта под фундаментной плитой, глубину заложения и жесткостные характеристики усиленного или свайного фундамента.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, взаимодействие сооружений с основанием, фундаментная плита, комбинированный асимптотический метод, программный комплекс SCAD Office.

## REVERSE EFFECT OF STRUCTURES ON MOVEMENT OF FOUNDATION SOIL UNDER SEISMIC IMPACTS

Leonid V. NUZHIDIN<sup>1,2</sup>, e-mail: nuzhdin\_ml@mail.ru

Viktor S. MIKHAYLOV<sup>3</sup>, e-mail: vsmikhailov@mail.ru

Irina D. YANKOVSKAYA<sup>4</sup>, e-mail: i.jankovskaya@sipi38.ru

<sup>1</sup> Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, ul. Leningradskaya, 113, Novosibirsk 630008, Russian Federation

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy prosp., 29, Perm 614990, Russian Federation

<sup>3</sup> Scientific and Technical Support Center “SCADSOFT Novosibirsk”, ul. Narymskaya, 23, Novosibirsk 630132, Russian Federation

<sup>4</sup> Siberian Institute of Design and Research, ul. Baykalskaya, 105a, Irkutsk 664047, Russian Federation

**Abstract.** The main goal of the presented research is to determine the range and conditions of civil engineering objects, where it is necessary to take into account the effect of interaction between the structure and the base in seismically active areas of construction. Such verification is mandatory according to the norms of nuclear power engineering and can be recommended when realizing the combined asymptotic method for calculation of platform models "Construction - Absolutely Rigid Foundation - Deformative ground base" in the interface of the SCAD Office when constructing objects of civil engineering. The obtained results of the numerical study show the necessity of taking into account reverse influence of fluctuations of the structure on the foundation both of civilian objects and structures of the nuclear industry. The reverse effect of the building leads to a change in the movement of the ground base under the foundation slab compared to the free field of surface movement under the same seismic conditions. Therefore, the accelerograms, taken in the calculation, for 60 % of the cases considered should be changed in comparison with the free field accelerograms. Modified accelerograms should take into account the appropriate stress state of soil massif under the foundation slab, the foundation depth and stiffness characteristics of the reinforced or pile foundation.

**Key words:** seismic impact, interaction of structures with the base, foundation slab, combined asymptotic method, SCAD Office software package.

**Р**азвитие нормативных требований и технологий расчета строительных конструкций [1–4] приводит к усложнению расчетных моделей, математического аппарата и расширению количества учитываемых факторов. Одним из таких факторов является требование о необходимости учета «особенностей взаимодействия элементов строительных конструкций между собой и основанием», отраженное в ст. 16, п. 4 федерального закона № 384-ФЗ.

Цель представленной исследовательской работы – определение круга задач гражданского строительства, где необходим учет эффекта взаимодействия сооружения и основания (Soil-Structure Interaction, далее – SSI-эффекты) в сейсмически активных районах строительства. Такая проверка обязательна при реализации комбинированного асимптотического метода расчета платформенных моделей «сооружение – абсолютно жесткий фундамент – основание» [1–3] для зданий гражданского назначения в среде расчетного комплекса SCAD Office. В настоящее время комбинированный асимптотический метод применяется при проектировании объектов атомной энергетики [1–3].

Для исследования выбраны монолитные железобетонные здания с перекрестно-стеновой системой, идентичные в плане (рис. 1), этажностью от 5 до 25 этажей с шагом в пять этажей (табл. 1). В качестве оснований приняты условные четыре типа грунта, соответствующие четырем категориям по сейсмическим свойствам согласно СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах». Скорости распространения продольных  $V_p$  и поперечных волн  $V_s$ , соотношение  $\delta$  (1) скорости распространения продольных волн  $V_p$  к скорости рас-

пространения поперечных  $V_s$  соответствуют приведенным в табл. 1\* СП 14.13330.

В табл. 2 представлены необходимые для расчетно-аналитического исследования динамические характеристики грунтов. Модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , модуль сдвига  $G$  вычислены по формулам (2), (3), (4), заимствованным из монографии А. Н. Бирбраера [5]:

$$\delta = \frac{V_p}{V_s}; \quad (1) \quad E = \rho V_s^2 \frac{3\delta^2 - 4}{\delta^2 - 1}; \quad (2)$$

$$\nu = \frac{\delta^2 - 2}{2(\delta^2 - 1)}; \quad (3) \quad G = \rho V_s^2. \quad (4)$$

Исследование значимости обратного влияния сооружения на его основание проведено на условно жестком штампе с использованием двух методик. Первая рассмотренная аналитическая методика была впервые опубликована в работах японских авторов Осава, Китагавы, Ири [6], в дальнейшем была переведена и подробно описана А. М. Уздиным [7]. Предложенный подход позволяет выполнить оценку качественных закономерностей взаимодействия сооружения с основанием до создания расчетной схемы надфундаментных конструкций, опираясь только на известные параметры сооружения и основания. К этим параметрам относятся безразмерная резонансная частота  $a_0$  (5), относительная масса сооружения  $m_0$  (6)

**1. Характеристики анализируемых расчетных схем**

Этажность	Общая масса здания, т	Длина/ширина здания в плане, м
5	3620	27,9/16,2
10	7250	
15	10 880	
20	14 510	
25	18 140	

и параметр  $\aleph$  (7), определяющий соотношение между сдвиговой и поворотной жесткостью фундамента:

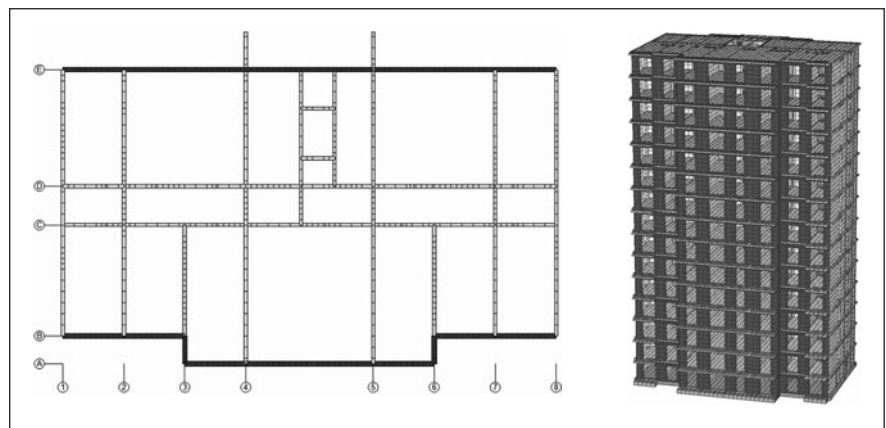
$$a_0 = \frac{\omega r}{v_2}; \quad (5) \quad m_0 = \frac{m}{\rho r^2}; \quad (6)$$

$$\aleph = \frac{K_x h^2}{K_\phi}, \quad (7)$$

где  $\omega$  – частота основного тона колебаний сооружения на жестком основании, рад/с;  $r = \sqrt{F/\pi}$ , м;  $F$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность грунта основания, кг/м<sup>3</sup>;  $K_x$  и  $K_\phi$  – поворотная и сдвиговая жесткости фундамента, м<sup>4</sup> и м<sup>6</sup>;  $h$  – расстояние от уровня подошвы фундамента до центра тяжести, м;  $v_2$  – скорость распространения волн сдвига в основании, м/с;  $m$  – масса сооружения, кг.

По полученным данным на представленных в первоисточнике [6] графиках (рис. 2) определяются точки, соответствующие рассматриваемой задаче. В зависимости от того, какой области принадлежит точка, делается вывод о существенности взаимо-

**Рис. 1. План и общий вид здания**



действия сооружения и основания. В зонах 1 и 2 обратное воздействие сооружения на основание несущественно; в зонах 3 и 6 — всегда существенно; в зонах 4 и 5 взаимодействие существенно при  $\lambda < \lambda^* (a_0)$ .

Результаты расчета по первой методике представлены на рис. 3. Каждая задача на графике обозначена точкой с цифровым значением: первое число соответствует этажности здания, второе — типу грунта основания.

Согласно этой методике взаимодействие сооружения и грунта основания несущественно только для зданий в 15, 20, 25 этажей с грунтом основания типа 1, а также для зданий высотой 20 и 25 этажей с грунтом основания типа 2. В остальных случаях взаимодействие является существенным при любой этажности.

Вторая численная методика регламентирована американским стандартом для объектов атомной энергетики ASCE 4-98 [8]. Согласно этой методике расчет с фиксированным основанием (т. е. без учета взаимодействия основания и сооружения) можно применять если собственная частота, полученная для абсолютно жесткого сооружения на податливых грунтовых пружинах, в 2 раза и более превышает доминантную частоту, полученную для модели податливого сооружения на абсолютно жестком, фиксированном основании. Формулы для определения жесткости грунтовых пружин под условно принятым абсолютно жестким фундаментом представлены в табл. 3.

Вычисленная жесткость грунтовых пружин для каждого типа грунта представлена в табл. 4. Для определения собственных частот абсолютно жесткого здания на грунтовых пружинах также используются упрощенные формулы, представленные в табл. 5.

Собственные частоты зданий

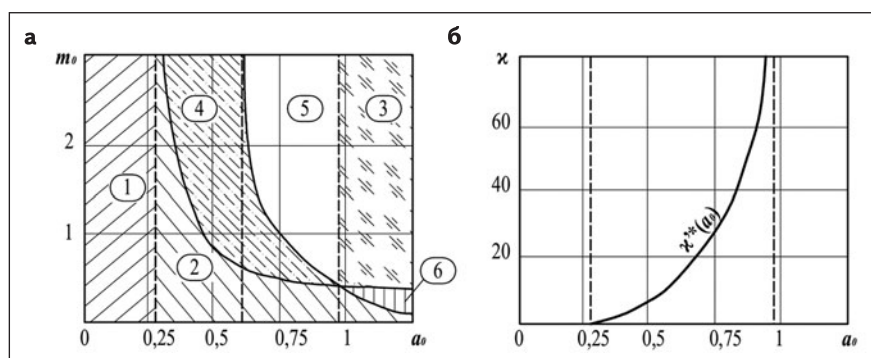


Рис. 2. Выделение на плоскости  $m_0 - a_0$  зон различного влияния основания на колебания системы (а) и вспомогательный график зависимости  $\chi(a_0)$  для оценки значимости обратного воздействия сооружения на колебание основания (б)

## 2. Характеристики грунтов

Наименование грунта	$V_{st}$ , м/с	$V_p/V_s$	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$E$ , МПа	$\nu$	$G$ , МПа
Грунт 1	700	1,7	2	2421,5	0,24	980
Грунт 2	400	2,2	2	8766,7	0,37	320
Грунт 3	200	5,3	2	237	0,48	80
Грунт 4	100	11	2	59,8	0,496	20

## 3. Параметры для расчета взаимодействия с основанием прямоугольного в плане фундамента поверхностного заложения

Тип движения	Эквивалентная жесткость, кН/м
Горизонтальное	$k_x = 2(1+\nu)G\beta_x\sqrt{BL}$
Вертикальное	$k_z = \frac{G}{1-\nu}\beta_z\sqrt{BL}$

Примечание. Обозначения:  $\nu$  — коэффициент Пуассона для материала основания;  $G$  — модуль сдвига материала основания, МПа;  $B$  — ширина фундамента в направлении, перпендикулярном горизонтальному воздействию, м;  $L$  — длина фундамента в направлении горизонтального воздействия, м;  $\beta_x, \beta_y, \beta_z$  — константы, являющиеся функциями безразмерного отношения  $L/B$  (см. рис. 4) для прямоугольных фундаментов.

## 4. Параметры для расчета взаимодействия с основанием прямоугольного в плане фундамента поверхностного заложения

Эквивалентная жесткость, кН/м	Грунт 1	Грунт 2	Грунт 3	Грунт 4
$k_x$	5,15E+07	1,86E+07	5,04E+06	1,27E+06
$k_y$	5,41E+07	1,96E+07	5,29E+06	1,34E+06
$k_z$	6,00E+07	2,37E+07	7,22E+06	1,86E+06

различной этажности на фиксированном основании определены путем модального анализа расчетной схемы в проектно-вычислительном комплексе SCAD Office 21.1 и представлены в

табл. 6. Отношения найденных частот для всех рассмотренных задач представлены в табл. 7 (заливкой отмечены ячейки с отношением менее 2, когда учет SSI-эффектов необходим).

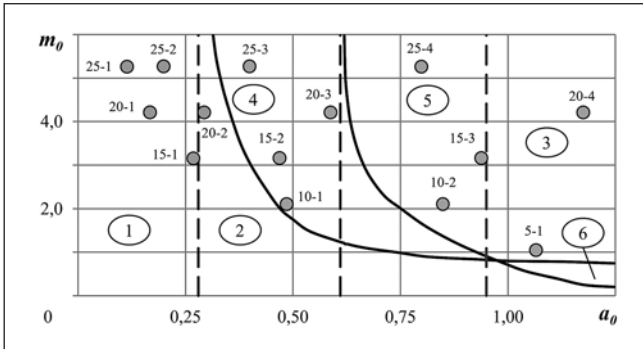


Рис. 3. Результаты расчета по первой методике

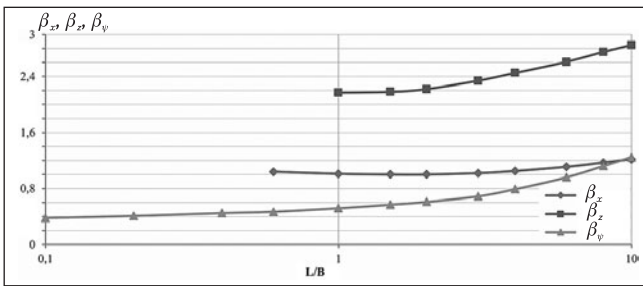


Рис. 4. График для определения коэффициентов  $\beta_x$ ,  $\beta_y$ ,  $\beta_z$  прямоугольных плит

7. Результаты расчета по методике ASCE 4-98

Этажность	Грунт 1			Грунт 2			Грунт 3			Грунт 4		
	$\frac{f_{x1}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y1}}{f_{y0}}$	$\frac{f_{z1}}{f_{z0}}$	$\frac{f_{x2}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y2}}{f_{y0}}$	$\frac{f_{z2}}{f_{z0}}$	$\frac{f_{x3}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y3}}{f_{y0}}$	$\frac{f_{z3}}{f_{z0}}$	$\frac{f_{x4}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y4}}{f_{y0}}$	$\frac{f_{z4}}{f_{z0}}$
5	1,92	1,71	0,6	1,15	1,03	0,38	0,6	0,54	0,21	0,3	0,27	0,11
10	2,97	2,96	0,67	1,79	1,78	0,42	0,93	0,93	0,23	0,47	0,47	0,12
15	3,94	4,51	0,95	2,37	2,71	0,6	1,23	1,41	0,33	0,62	0,71	0,17
20	5,02	6,23	1,06	3,02	3,75	0,67	1,57	1,95	0,37	0,79	0,98	0,19
25	6,19	8,2	1,17	3,72	4,93	0,74	1,94	2,56	0,41	0,97	1,29	0,21

8. Сопоставление результатов расчета по двум методикам

Этажность	Грунт 1			Грунт 2			Грунт 3			Грунт 4		
	$\sigma_0$ , $m_0$	$\frac{f_{x1}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y1}}{f_{y0}}$	$\sigma_0$ , $m_0$	$\frac{f_{x2}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y2}}{f_{y0}}$	$\sigma_0$ , $m_0$	$\frac{f_{x3}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y3}}{f_{y0}}$	$\sigma_0$ , $m_0$	$\frac{f_{x4}}{f_{x0}}$	$\frac{f_{y4}}{f_{y0}}$
5	+	1,92	1,71	+	1,15	1,03	+	0,6	0,54	+	0,3	0,27
10	+	2,97	2,96	+	1,79	1,78	+	0,93	0,93	+	0,47	0,47
15	-	3,94	4,51	+	2,37	2,71	+	1,23	1,41	+	0,62	0,71
20	-	5,02	6,23	-	3,02	3,75	+	1,57	1,95	+	0,79	0,98
25	-	6,19	8,2	-	3,72	4,93	+	1,94	2,56	+	0,97	1,29

По результатам выполненных расчетов, во всех рассмотренных задачах хотя бы одно отношение

частот одного из ортогональных направлений не превышает числа 2. В подавляющем большинстве

5. Упрощенные формулы определения доминантных частот для здания на грунтовых пружинах

Тип движения	Доминантная частота, Гц
Горизонтальное по оси X	$f_x = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_x}{m}}$
Горизонтальное по оси Y	$f_y = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_y}{m}}$
Вертикальное	$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z}{m}}$

6. Значения доминантных частот для здания на фиксированном основании

Этажность	Доминантная частота, Гц		
	$f_{x0}$	$f_{y0}$	$f_{z0}$
5 этажей	9,9	11,37	34,12
10 этажей	4,51	4,64	21,74
15 этажей	2,78	2,49	12,39
20 этажей	1,89	1,56	9,65
25 этажей	1,37	1,06	7,83

случаев это относится к вертикальным собственным формам колебаний здания.

Согласно этой методике взаимодействие основания и сооружения существенно во всех рассмотренных случаях.

Сравнение результатов расчета двумя способами представлено в табл. 8. Для первого метода «+» и «-» означают значимость и незначительность SSI-эффектов. Для второй методики приведены значения отношений доминантных горизонтальных частот колебаний жесткого здания на грунтовых пружинах к собственным частотам податливого здания на жестком основании. Заливкой выделены ячейки, данные в которых соответствуют существенному эффекту взаимодействия основания и сооружения.

Согласно обоим методикам для горизонтальных направлений в большинстве случаев результаты сходятся. Этот факт показывает, что японские авторы

[6] учитывали только горизонтальное движение, исключив вертикальное из рассмотрения. Если сделать допущение о существовании SSI-эффектов при отношении  $f_{xi}/f_{x0}$ , равном трем (ячейки выделены черным цветом), то полученные данные во всех рассмотренных задачах будут абсолютно идентичны для обоих методов. Это означает, что критерии значимости эффекта взаимодействия основания и сооружения у японских авторов более консервативны, чем при расчете по методике ASCE 4-98, где данное соотношение установлено на уровне двух.

Итак, установлено, что 20 рассмотренных задач со зданиями различной этажности на четырех типах грунтового основания имеют эквивалентные результаты, для которых SSI-эффект существенен в 12 задачах (60 %) при рассмотрении только горизонтальных колебаний. Более того, анализ показывает идентичные результаты для 15 задач (75 %)

при допущении повышения критерияльного значения отношения  $f_{xi}/f_{x0}$  до трех (по методике ASCE 4-98). В случае учета вертикальных колебаний по этой методике отношение  $f_{xi}/f_{x0}$  будет более двух во всех 20 рассмотренных задачах.

Несмотря на простоту использованных методов проверки на основе условной замены основания эквивалентными одномерными осцилляторами, исследование демонстрирует высокую вероятность обратного влияния колебаний сооружения на движение основания в большинстве объектов многоэтажного строительства.

#### Вывод

Обратное влияние здания приводит к изменению движения грунтового основания под фундаментной плитой по сравнению со свободным полем движения поверхности в тех же сейсмических условиях [1]. Следовательно, акселерограммы, принимаемые в

расчете, как минимум для 60 % рассмотренных моделей должны быть изменены по сравнению с акселерограммами свободного поля с использованием редактора акселерограмм в ПК SCAD Office, SHAKE и др.

Модифицированные акселерограммы должны учитывать соответствующее напряженное состояние массива грунта под фундаментной плитой, глубину заложения и жесткостные характеристики усиленного или свайного фундамента с использованием специализированных программ CLASSI и SASSI, а также в виде прямых динамических моделей в новой версии SCAD 21.1.7 или в научных программах типа ANSYS, ABAQUS.

*Авторы выражают благодарность главному специалисту АО «Атом-энергопроект» доктору технических наук А. Г. Тяпину и ведущему инженеру А. С. Топоркову за оказанные консультации по теме исследований и комбинированному асимптотическому методу в расчете зданий на естественном и свайном основаниях.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тяпин А. Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. М. : АСВ, 2013. 392 с.
2. Тяпин А. Г. Платформенные модели в задачах учета взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейсмическое воздействие. М. : АСВ, 2016. 208 с.
3. Тяпин А. Г. Учет взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейсмические воздействия. М. : АСВ, 2014. 136 с.
4. Тяпин А. Г. Различия между нормами расчета на сейсмические воздействия как потенциальные направления развития норм гражданского строительства // Сборник статей IX Российской конференции по сейсмостойкому строительству (6–9 сентября 2011, г. Сочи). М., 2011. С. 43.
5. Бирбраер А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб : Наука, 1998. 255 с.
6. Osava Y., Kitagawa Y., Irie Y. Evaluation of various parameters on response analysis of earthquake motions including soil building system [Оценка различных параметров отклика системы «грунт–основание–сооружение» при землетрясении] // Сейсмостойкие здания и развитие теории сейсмостойкости (По материалам IV Междунар. конф. по сейсмостойкому строительству). М. : Стройиздат, 1984. С. 116–120.
7. Уздин А. М., Сандович Т. А., Аль-Насер-Мозомад Самих Амин. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. СПб : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1993. 176 с.
8. Seismic analysis of safety-related nuclear structures and commentary [Анализ сейсмической безопасности сооружений ядерной промышленности с комментариями]. ASCE 4-98. Reston, Virginia, USA, 1999. 138 p.
9. Evtushenko S. I., Krakhmal'nyi T. A. Investigation of the behavior of strip foundations with complex configuration of the base [Исследование поведения фундаментов со сложной конфигурацией] // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 54. No. 3. Pp. 169–172.

## REFERENCES

1. Tyapin A. G. *Raschet sooruzhenij na sejsmicheskie vozdejstviya s uchetom vzaimodejstviya s gruntovym osnovaniem* [Calculation of structures for seismic effects taking into account the interaction with the ground base]. Moscow, ASV Publ., 2013. 392 p. (In Russian).
2. Tyapin A. G. *Platformennye modeli v zadachah ucheta vzaimodejstviya sooruzhenij s osnovaniem pri raschetah na sejsmicheskoe vozdejstviya* [Platform models in problems of the account of interaction of constructions with the basis at calculations on seismic influences]. Moscow, ASV Publ., 2016. 208 p. (In Russian).
3. Tyapin A. G. *Uchet vzaimodejstviya sooruzhenij s osnovaniem pri raschetah na sejsmicheskie vozdejstviya* [Taking into account the interaction of structures with the base in calculations for seismic effects]. Moscow, ASV Publ., 2014. 136 p. (In Russian).
4. Tyapin A. G. The differences between the rules of calculation of seismic impact as a potential direction of development of the rules of civil construction. *Sbornik statej IX Rossijskoj konferencii po sejsmostojkomu stroitel'stvu* [Collection of articles of the IX Russian conference on earthquake engineering]. Sept. 6–9, 2011, Sochi. Moscow, 2011, pp. 43. (In Russian).
5. Birbraer A. N. *Raschet konstrukcij na sejsmostojkost'* [Calculation of structures for seismic resistance]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998. 255 p. (In Russian).
6. Osava Y., Kitagava Y., Irie Y. Evaluation of various parameters on response analysis of earthquake motions including soil building system. *Sejsmostojkie zdaniya i razvitie teorii sejsmostojkosti (po materialam IV Mezhdunar. konf. po sejsmostojkomu stroitel'stvu)* [Earthquake-resistant buildings and development of the theory of seismic resistance (based on the IV International conference on earthquake engineering)]. Moscow, Strojizdat Publ., 1984, pp. 116–120. (In Russian).
7. Uzdin A. M., Sandovich T. A., Al'-Naser-Mozomad Samih Amin. *Osnovy teorii sejsmostojkosti i sejsmostojkogo stroitel'stva zdaniy i sooruzhenij* [Fundamentals of the theory of seismic resistance and earthquake-resistant construction of buildings and structures]. St. Petersburg, VNIIG im. B. E. Vedeneeva Publ., 1993, 176 p. (In Russian).
8. Seismic analysis of safety-related nuclear structures and commentary. ASCE 4-98. Reston, Virginia, USA, 1999. 138 p.
9. Evtushenko S. I., Krakhmal'nyi T. A. Investigation of the behavior of strip foundations with complex configuration of the base. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2017, vol. 54, no. 3, pp. 169–172.

Для цитирования: Нуждин Л. В., Михайлов В. С., Янковская И. Д. Обратное влияние сооружений на движение грунта основания при сейсмических воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 1. С. 59–64.

For citation: Nuzhdin L. V., Mikhaylov V. S., Yankovskaya I. D. Reverse Effect of Structures on Movement of Foundation Soil under Seismic Impacts. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 1, pp. 59–64. (In Russian). ■