

УДК 624.042.8

канд. техн. наук, доцент Банах А.В.,
Запорожская государственная инженерная академия

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЁТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ СОВМЕСТНО С ОСНОВАНИЕМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ОТ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Приведены результаты исследования возможности применения статико-динамической расчетной модели длительно эксплуатируемого жилого здания совместно с грунтовым основанием при устройстве свайного фундамента нового сооружения в непосредственной близости от рассматриваемого объекта.

Ключевые слова: динамические воздействия, здания и сооружения, грунтовые основания, расчетные модели, напряженно-деформированное состояние, сложные инженерно-геологические условия

Актуальность проблемы. В последние годы многие ученые вплотную подошли к созданию адекватных статико-динамических расчетных моделей учета взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми основаниями при динамических воздействиях [1–4].

Особый интерес вызывает возможность применения таких моделей для исследования напряженно-деформированного состояния конструкций зданий, получивших в процессе длительной эксплуатации определенные деформации, и подвергающихся вновь возникающим динамическим воздействиям, передаваемым на здания через грунтовое основание.

Ввиду высокой плотности жилой застройки центров крупных городов, длительного срока эксплуатации большинства зданий, а также сложности инженерно-геологических условий практически всей территории Украины, на передний план выходит проблема восприятия основными несущими конструкциями зданий значительных нагрузок и воздействий, возникающих при работе в непосредственной близости от них крупной строительной техники ударного действия – например, при забивке свай в котлованах.

Цель исследования. В связи с этим были выполнены численные исследования расчетной модели длительно эксплуатируемого жилого здания совместно с основанием, с целью определить адекватность используемой статико-динамической расчетной модели при динамических воздействиях, передаваемых через толщу грунта.

Материалы исследования. В качестве статико-динамической модели с

использованием пространственных комплектов свойств предлагается расчетная модель основания в виде сосредоточенных масс, соединенных специальными конечными элементами, моделирующими нелинейные односторонние связи, с приложением динамических воздействий за пределами здания, для получения динамических характеристик основания методами прямого интегрирования систем дифференциальных уравнений движения.

Такая модель дает возможность учесть подробным образом структуру основания, его инерционные характеристики, смоделировать инженерные сооружения сетей и конструкции, находящиеся в грунте, а также исследовать динамическую реакцию здания совместно с основанием во временной области, и является реализацией инерционной (упруго-диссипативной) модели основания, предложенной В. В. Кулябко [3], в рамках метода конечных элементов в пространственной постановке.

В качестве объекта моделирования передачи через грунт динамических воздействий на объект, в непосредственной близости от которого производится забивка свай, рассматривается жилое здание в г. Запорожье по адресу пр. Ленина, 185.

Жилой 5-этажный дом, построенный в 1936-1937 гг., восстановлен после пожара в 1946 г. Здание относится ко II группе капитальности с нормативным сроком эксплуатации 125 лет. Здание имеет Г-образную конфигурацию в плане, с размерами каждой из сторон: длина – 53,8 м, ширина – 15,2 м, длина – 45,6 м, ширина – 13,8 м. В здании имеется подвал глубиной 3,2...3,4 м. Деформационные швы и другие конструктивные защитные мероприятия от воздействия неравномерных осадок основания отсутствуют. Капитальный ремонт здания за период эксплуатации с 1946 г. не производился. Проектная документация на здание отсутствует.

Конструктивная схема здания состоит из несущих продольных и поперечных стен, включая несущие кирпичные столбы. Стены – кирпичные из глиняного обожженного кирпича М100 на растворе М30, М50, толщина стен 510 мм. Фундаменты под несущие стены ленточные из бутового камня М200 на растворе М15 толщиной 1,2 м. Междуэтажные перекрытия – монолитные железобетонные, сборные и деревянные по балкам из железнодорожных рельс и прогонам из двутавра № 20...24. В подвале главные балки из монолитного бетона С12/15 (В15). Перегородки – кирпичные из шлаковых плит толщиной 8 см и деревянные щитовые. В уровне перекрытий 3 и 4 этажей наружные стены соединены тяжами из стержней $\varnothing 25$ мм по стенам лестничных клеток, ранее имевшим вертикальные трещины.

Видимые значительные деформации здания проявились 4 декабря 1995 г. Предварительным обследованием было установлено, что эти деформации

связаны с утечками из водонесущих коммуникаций, проходящих в подвале здания. С января 1996 г. производились геодезические наблюдения за развитием осадок, а также был выполнен комплекс инженерно-геологических исследований [5]. Дальнейшее развитие деформаций дома обусловили необходимость повторного обследования и оценку состояния конструкций, определения причин дальнейшего развития деформаций, а также оценку динамических воздействий, передающихся через грунтовое основание на здание от строительного оборудования при забивке свай.

Основанием здания являются суглинки лессовые естественного сложения, полутвердой консистенции. Специальной подготовки основания не выполнялось. Причиной деформаций здания является проявление просадочных свойств грунтов основания по причине их замачивания из водонесущих коммуникаций. Изысканиями не установлены причины активизации деформационного процесса строительных конструкций здания в сентябре-октябре 2002 г. Предположительно, это также произошло из-за аварийной утечки из водонесущих коммуникаций. Динамические воздействия от строительной техники способствовали развитию деформаций.

В геологическом отношении до разведанной глубины 30,0 м площадка сложена четвертичными отложениями, представленными переслаивающимися лессовидными суглинками и супесями, с прослойками погребенных почв. Четвертичные отложения на глубине 30,0 м залегают на дресве гранитов и гранитах. Сверху разрез перекрыт насыпными грунтами.

Лессовые грунты, расположенные выше установившегося уровня подземных вод, обладают просадочными свойствами при замачивании как от собственного веса грунта, так и от дополнительной нагрузки. Мощность просадочной толщи без учета насыпных грунтов составляет 18,0 м и ограничивается установившимся уровнем подземных вод. Мощность просадочной толщи под пятном здания составляет 15,0 м. Суммарная просадка грунтов от собственного веса при замачивании на площадке может составлять 54,11 см. Грунтовые условия площадки относятся ко II типу по просадочности.

Хотя фактическое минимальное расстояние от обследуемого здания до строительной площадки, где производится забивка свай – около 80 м (рис. 1), учитывая особенности данного объекта, возникла необходимость проверки уровня колебаний фундаментов, при котором динамические воздействия не вызовут развития дополнительных деформаций здания.

Для исследования влияния динамических воздействий на эксплуатационные качества здания были проведены измерения уровня колебаний здания в наиболее опасных (ослабленных оконными проемами) и доступных для измерений точках. Задача виброметрических измерений

состояла в инструментальном определении частоты и амплитуды смещения несущих стен обследуемых зданий с последующим вычислением скорости и ускорения колебаний [5], и сопоставлении этих величин с нормативными значениями, приведенными в [6].

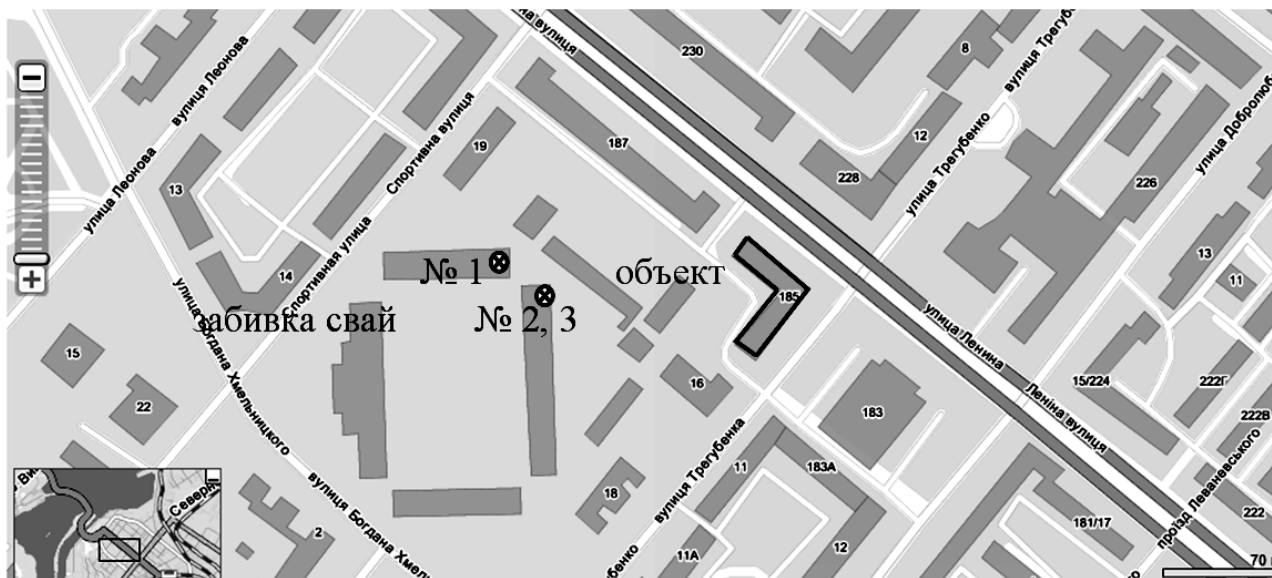


Рис. 1. Схема расположения исследуемого объекта и строительной площадки с забивкой свай

Для решения этой задачи ЗО НИИСК был использован виброметрический комплекс, рекомендованный в п. 9 Приложения [7] (датчики И001 в комплекте с самописцем уровня ЭК ИТ-04) для регистрации смещений в диапазоне частот 2...30 Гц. Для оперативной оценки уровня колебаний, настройки комплекса и уточнения мест расстановки датчиков использовался также электронный цифровой виброметр БИП-7. Были проведены измерения вертикальных и горизонтальных колебаний здания при забивке свай, которая в соответствии с условиями без расчета может производиться при расстоянии до окружающих зданий не менее 30 м (табл.1 [7]). Хотя фактические расстояния от обследуемого здания до погружаемых свай больше указанной величины, учитывая особенности данного здания, в соответствии с п. 2.3 [7], возникла необходимость проверить уровень колебаний фундаментов, при котором забивка свай не вызовет развития дополнительных деформаций здания.

Для исследования влияния забивки свай на эксплуатационные качества здания были проведены измерения уровня колебаний в наиболее опасных (ослабленных оконными проемами) и доступных для измерений точках. Задача виброметрических измерений состояла в инструментальном определении частоты и амплитуды смещения несущих стен обследуемых зданий при погружении пробных свай (с последующим вычислением скорости и ускорения

колебаний) и сопоставлении этих величин с нормативными значениями [6, 7].

Измерения проводились 8 ноября 2002 г. при погружении трех пробных свай (свая №1 – на расстоянии около 150 м, сваи №2 и №3 – на минимальном проектном расстоянии от здания – около 100 м). Вибродатчики устанавливались в оконных проемах помещений третьего этажа и ориентировались для восприятия вертикальных и горизонтальных колебаний.

Зарегистрированные при погружении секций составных свай колебания имеют сложный характер, содержат спектр гармоник с частотами 2,5...22 Гц, которые затухают после каждого удара молота. При обработке фиксировалась преобладающая частота колебаний максимальной амплитуды.

Максимальные (амплитудные) значения колебаний по скорости и ускорению вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned}v &= 2 \pi A f; \\a &= 4 \pi^2 A f^2,\end{aligned}$$

где A – амплитуда смещений, мм;

f – частота смещений, Гц.

При погружении сваи № 1 колебания конструкции здания не превысили порога чувствительности измерительной аппаратуры, то есть не были зафиксированы приборами. При погружении свай № 2 и № 3 на минимальном расстоянии зафиксированы следующие величины колебаний:

- вертикальных: $f = 11$ Гц; $A = 1,4$ мкм; $v = 0,097$ мм/с; $a = 6,6$ мм/с² ;

- горизонтальных: $f = 13$ Гц; $A = 1,2$ мкм; $v = 0,098$ мм/с; $a = 8,0$ мм/с² .

В соответствии с таблицей 2 [8], для бескаркасных зданий с несущими стенами и III группой грунтов оснований, допустимое ускорение вертикальных колебаний фундаментов, при котором не происходят дополнительные деформации оснований, составляет 150 мм/с², что значительно больше, чем фактически замеренные значения.

Оценка уровня колебаний обследуемого здания выполнена в соответствии с нормативами [6]. В качестве критерия был принят уровень среднеквадратичной виброскорости $v_{ск}$ в диапазоне октавной частоты 16 Гц.

Для колебаний, имеющих временный характер, связанный с производством строительных работ в дневное время, допустимый уровень повышается на 10 дБ, а при продолжительности воздействия менее 6 % – дополнительно на 15 дБ (что имеет место при погружении одной сваи в час). Таким образом, допустимый уровень виброскорости составляет 92 дБ или 1,99 мм/с, что также больше измеренных значений скорости колебаний.

Целью численного эксперимента являлось сопоставление динамических

характеристик статико-динамической модели и параметров напряженно-деформированного состояния для количественной и качественной оценки возможности её применения в инженерных динамических расчетах. В качестве динамического воздействия принято импульсное (ударное) периодическое воздействие с весом ударяющего тела (по техническим характеристикам копра) 1,8 т, усредненной величиной силы удара 5,4 т, продолжительностью воздействия 0,4 с, периодом повторения воздействия 1,43 с и количеством повторений 30 раз.

В результате расчета были получены динамические характеристики, из которых анализировались собственные значения, частоты и периоды собственных колебаний системы, а также перемещения узлов, усилия в стержневых элементах и главные напряжения в пластинчатых элементах.

Первые формы собственных колебаний здания, на долю которых пришелся максимум использованных модальных масс, приведены на рис. 2.

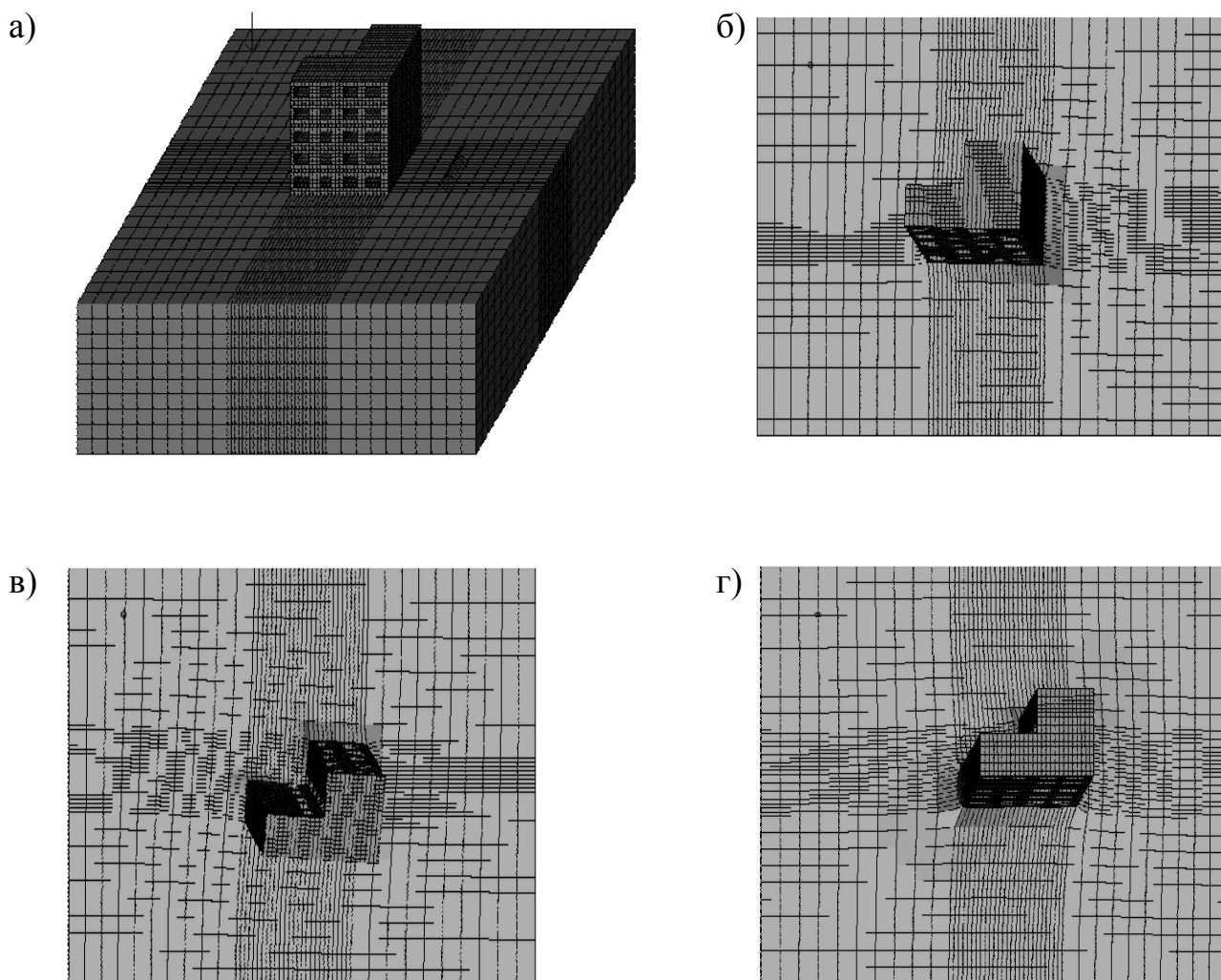
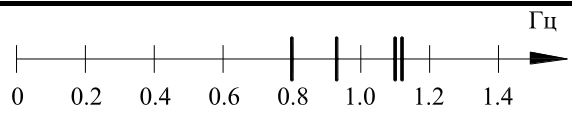
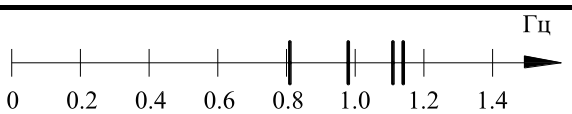


Рис. 2. Вынужденные колебания здания от динамических воздействий по формам колебаний: а) фрагмент расчетной модели; б) форма 1; в) форма 2; г) форма 3

Численные значения динамических характеристик приведены в табл. 1, отклонение параметров от фактически замеренных – на рис. 3. При сопоставлении динамических характеристик использовались величины отклонений от значений, полученных при проведении обследования [5].

Таблица 1 – Динамические характеристики расчетной модели при передаче динамических воздействий через грунтовые основания

Вариант	Частотный спектр колебаний, Гц	Формы собственных колебаний			
		1	2	3	4
1		0.804	0.929	1.101	1.121
2		0.806	0.937	1.102	1.129

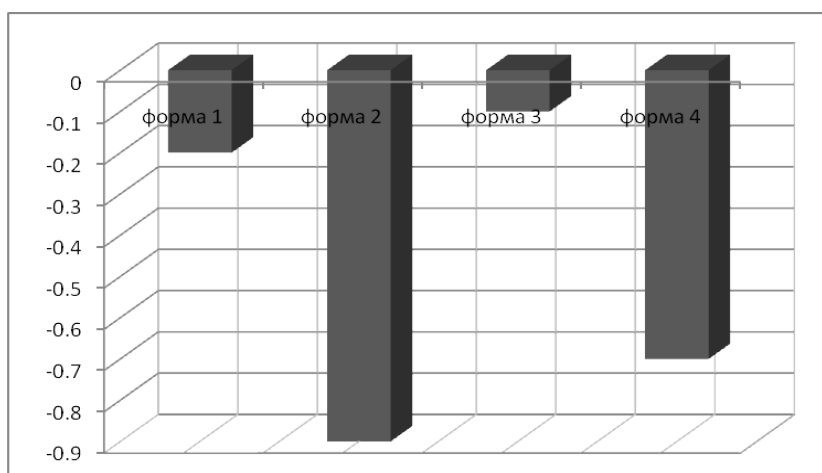


Рис. 3. Отклонения (%) частот собственных колебаний для модели взаимодействия с передачей динамических воздействий через грунт от фактически замерянных значений

Расчет динамики во времени выполнялся при условии раздельного приложения воздействий от забивки свай. При этом продолжительность воздействия была принята равной 30 секундам для обеспечения возможности проявления демпфирующих свойств основания и получения нескольких частотных гармоник. Амплитуды (перемещения) узлов расчетной модели вычислены с учетом деформаций от статических нагрузок, поэтому для

сопоставления выделена только та часть, которая вызвана динамическими воздействиями. Таким образом, при расчете динамики во временной области учитывается деформированная схема здания, что позволяет учесть деформации, вызванные просадкой грунта.

Данные по динамическим характеристикам в контрольных точках здания (простенок в уровне низа оконных проемов третьего этажа) по результатам натурных замеров приведены в табл. 2, результаты расчетов для характерных узлов здания – в табл. 3, параметры их колебаний при забивке свай – на рис. 4.

Таблица 2 – Динамические характеристики в контрольных точках здания по результатам натурных замеров

Колебания	Динамические параметры			
	Частота, Гц	Перемещения, мкм	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с ²
Вертикальные	11.0	1.40	0.097	6.60
Горизонтальные	13.0	1.20	0.098	8.00

Таблица 3 – Динамические характеристики расчетной модели здания при передаче динамических воздействий через грунтовые основания

Колебания	Динамические параметры			
	Частота, Гц	Перемещения, мкм	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с ²
Вертикальные	11.0	1.51	0.088	7.12
Горизонтальные	13.0	1.29	0.103	8.25

Выводы. Отклонение параметров собственных колебаний применяемой модели от фактически замеренных не превышает 1 %, следовательно, передача динамических воздействий через грунтовое основание моделируется корректно.

Динамические характеристики расчетной модели, представленные для контрольной точки здания, близки к результатам натурных замеров. Их отклонения составляют 3...7 % для амплитуд, 2...10 % для скоростей и 1...7 % для ускорений.

Таким образом, статико-динамические модели с использованием пространственных комплектов могут быть применены для расчета систем взаимодействия длительно эксплуатируемых зданий совместно с основаниями при динамических воздействиях от строительной техники ударного типа, передающихся сквозь толщу грунта.

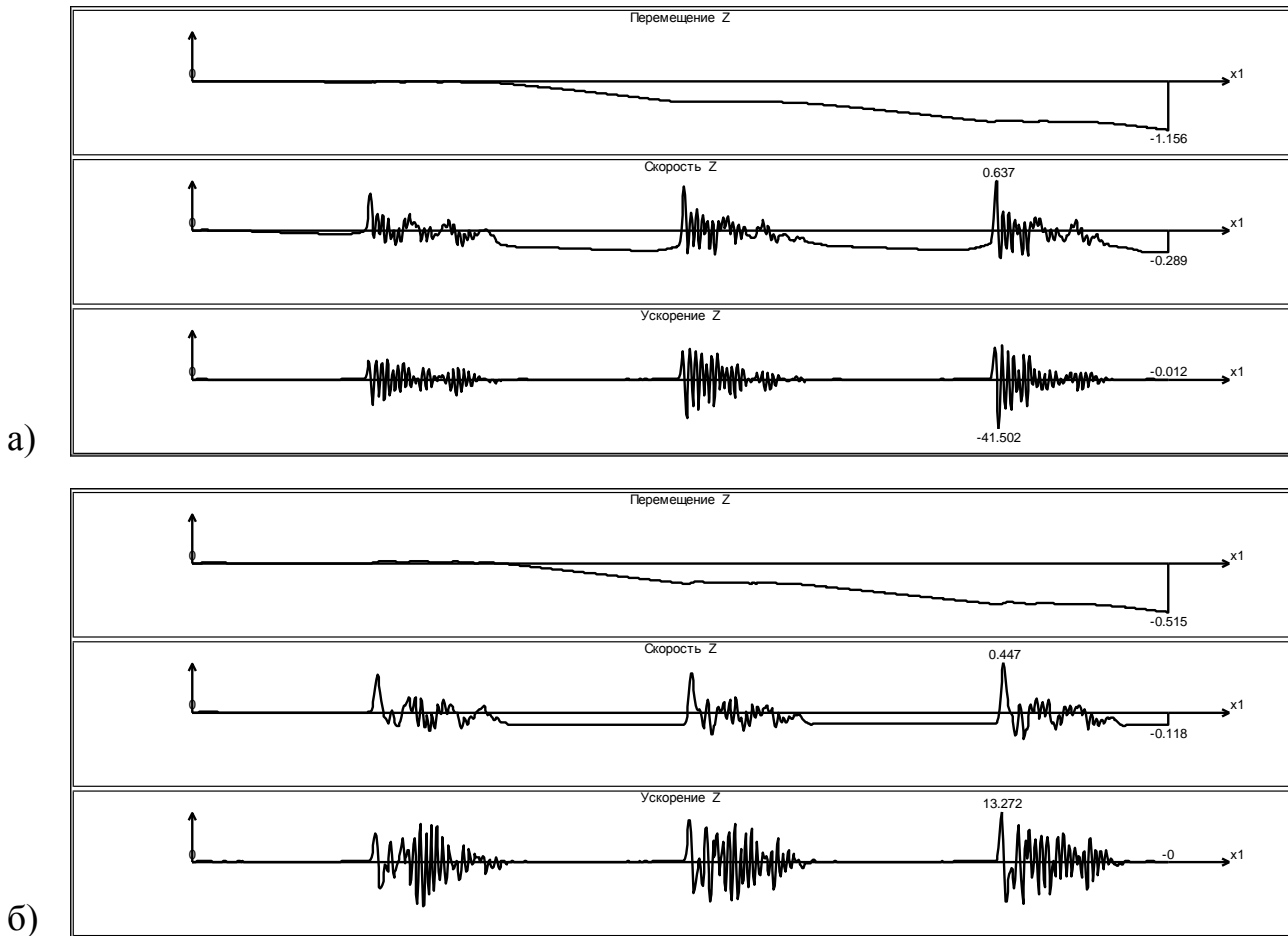


Рис. 4. Виброграммы амплитуд вертикальных перемещений, скоростей и ускорений контактных элементов здания при расстоянии до источника динамического возмущения на поверхности грунта в интервале 30 с: а) на расстоянии 100 м; б) на расстоянии 150 м

Литература

1. Криворотов А.П. Оценка взаимодействия фундаментов с грунтом и совершенствование методов их проектирования : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.02 / Криворотов Александр Петрович. – Пермь, 2002. – 404 с.
2. Чухлатый М.С. Численное исследование напряженно-деформированного состояния системы «здание-фундамент-грунт» : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18, 01.02.04 / Чухлатый Максим Сергеевич. – Тюмень, 2004. – 107 с.
3. Кулябко В.В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Ч. 1 : Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками / В.В. Кулябко. – Запорожье: ЗГИА, 2005. – 232 с.
4. Моргун А.С. Моделювання ефекту взаємодії системи «будівля – фундамент – основа» числовим методом граничних елементів : монографія / А.С. Моргун, І.М. Меть, А.В. Ніцевич. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 132 с.

5. Обследование и оценка состояния деформированных конструкций жилого дома по пр.Ленина,185: заключение. – Запорожье: НИИСК, 2002. – 64 с.

6. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах : № 1304-75 / [утв. Глав. гос. санит. врач СССР 1975-06-11]. – 9 с.

7. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки : ВСН 490-87. – [Действителен от 1986-12-29]. – Офиц. изд. – М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1986. – 21 с. – (Нормативный документ Минмонтажспецстроя СССР).

8. Дыховичный А.А. Модели строительных конструкций и их идентификация : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Дыховичный Александр Александрович. – К., 1995. – 322 с.

Анотація

Наведені результати дослідження можливості використання статико-динамічної розрахункової моделі житлового будинку, що експлуатується впродовж тривалого часу, спільно з ґрунтовою основою при влаштуванні пальового фундаменту нової споруди у безпосередній близькості від об'єкту, що розглядається.

Ключові слова: динамічні дії, будівлі і споруди, ґрунтові основи, розрахункові моделі, напружено-деформований стан, складні інженерно-геологічні умови

Annotation

The results of research of the possibility of the use of static-dynamic calculation model of the living building with ground foundation exploited for a long time, when the pile foundation of a new structure in the direct closeness from the considered object is build, are brought.

Keywords: dynamic influences, building and structures, soil grounds, calculation models, stress-strain state, difficult engineer-geological conditions