

УДК 624.042.8

к.т.н., доцент Банах А.В.,
Запорожская государственная инженерная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ ПРИ УЛУЧШЕНИИ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ ГИДРОВЗРЫВОМ

Приведены результаты исследования динамической реакции модели здания при искусственном улучшении свойств грунтовых оснований гидровзрывом. Изучено изменение динамических характеристик расчётной модели с учётом конструкции сейсмозащитного экрана.

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

Актуальность проблемы. В условиях Среднего Приднепровья, где исторически сложились крупные промышленные зоны с социальными структурами, повсеместно прослеживается распространение просадочных грунтов мощностью 15...30 м, а на отдельных участках – до 40 м, и отличаются четко выраженным чередованием лессов, лессовидных суглинков и супесей.

Как показала практика строительства зданий и сооружений на лессовых грунтах, нормальные условия эксплуатации обеспечивается только при устранении просадочных свойств грунтов в пределах всей толщи. Ликвидация просадочных свойств грунтов может выполняться путем уплотнения их тяжелыми трамбовками, предварительным замачиванием, в том числе с использованием энергии взрыва, грунтовыми, шлаковыми и другими армирующими вертикальными элементами, закреплением силикатизацией и обжигом, и другими способами.

Цель исследования. В связи с этим отдельный интерес представляет динамическое поведение существующих зданий при уплотнении просадочных грунтов гидровзрывом, а также влияние сейсмозащитных конструкций на динамическую реакцию зданий.

Материалы исследования. Подготовка оснований предварительным замачиванием широко применяется при строительстве зданий на просадочных грунтах второго типа. Для ускорения процесса уплотнения лессовых грунтов по предложению Ю. М. Абелева [1], В. И. Крутова [2], а затем и И. М. Литвинова [3], применяется предварительное замачивание грунтов в сочетании с глубинными взрывами [4].

При уплотнении замоченных лессовых грунтов И. М. Литвинов применил

ту же технологию, которой пользовались А. М. Аронов и П. Л. Иванов [5] при уплотнении водонасыщенных песков. В зависимости от начальной плотности лессового грунта на каждом гектаре уплотняемой площади производится до 500 глубинных взрывов. Их многократное воздействие способствует также равномерному распределению уплотнения по всей толще, за исключением буферного слоя толщиной 3...5 м. При этом динамические воздействия на здания передаются через грунтовую толщу и аналогичны сейсмическим.

Уплотнение грунтов гидровзрывом производится на минимально допустимых расстояниях от существующих зданий и сооружений, которые составляют 15...40 м.

Лессы, лессовидные суглинки и пылеватые супеси при замачивании обладают способностью к снижению структурной прочности и самоуплотнению. С целью ускорения стабилизации осадок грунта и в развитие метода предварительного замачивания И. М. Литвиновым [3] был предложен ускоренный способ уплотнения лессовых просадочных грунтов. Сущность способа заключается в дозированном замачивании уплотняемого массива, с последующим уплотнением динамической нагрузкой. Наиболее эффективно эту задачу в массиве просадочного грунта оптимальной влажности можно решить при помощи энергии взрыва. Было предложено подвергать водонасыщенный грунт неоднократным динамическим воздействиям глубинных взрывов [6]. Происходящее при этом уплотнение грунта, в основном, за счет собственного веса, отражает переход его в новое равновесное состояние.

Сейсмоопасные расстояния для зданий и сооружений, построенных с конструктивными противопросадочными мероприятиями, находящихся в удовлетворительном состоянии на незамоченном грунте, допускается определять по [7] с учетом многократных одиночных взрывов. Определение уровня колебаний и сейсмобезопасных расстояний для жилых домов выполнялось на основе опытных замеров колебаний при контрольных взрывах.

В застроенном районе расстояние от эпицентра взрывов до окружающих зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии, могут быть снижены до 40 м при наличии опытных данных по колебаниям грунта, подтверждающих возможность уменьшения сейсмобезопасных расстояний.

В качестве объекта исследования передачи динамических воздействий через грунтовое основание при гидровзрыве рассматривается 10-тиэтажное жилое крупнопанельное здание, возведенное на Хортицком жилмассиве в г. Запорожье. Работы по подготовке основания и наблюдениям за существующей застройкой производились ЗО НИИСК [8].

Здание состоит из двух блок-секций длиной 25,2 м каждая, возведенных

на основании, подготовленном гидровзрывом, в 1990 г. Подготовительные работы на площадке строительства данного дома проводились в феврале 1990 г. В проекте дренажные и дренажно-взрывные скважины предусмотрены диаметром 350 мм с шагом 5×5 м и выполнены глубиной 21,4 м. Замачивание грунтов осуществлялось с 03.03.1990 г. по 28.03.1990 г.; всего было подано 21850 м^3 воды, при этом была достигнута степень влажности грунта 0,76...0,80. Взрывные работы выполнялись 28.03.1990 г. Заряды по проекту должны были располагаться в среднем на глубине 10 м. Спустя 80 суток после взрыва общие осадки в пятне здания составили 1000...1300 мм; плотность грунта в сухом состоянии равнялась $1,53...1,60 \text{ г/см}^3$. После наступления условной стабилизации в июле-августе 1990 г. была выполнена грунтовая подушка мощностью 2,77 м (абсолютные отметки грунтовой подушки: низ – 84,30; верх – 87,07). На глубине 3,5...4,5 м и расстоянии 11,0 м от площадки строительства жилого дома проложена действующая канализация $\varnothing 250$ мм, на расстоянии 13,0 м проходит водопровод.

В соответствии с рекомендациями норм безопасные расстояния от места взрыва до жилых 9-ти этажных домов составляют 60...80 м [7, 6]. В связи с тем, что подготовку основания гидровзрывным методом необходимо было производить в непосредственной близости от жилого дома и инженерных коммуникаций, были разработаны мероприятия по их защите. Для защиты жилого дома №4 от динамического взрывного воздействия был выполнен сейсмогасящий экран, а для защиты просадочных грунтов за пределами площадки от замачивания – водозащитный экран.

В целях уменьшения сейсмических колебаний грунта после проверочных расчетов было решено применить заряды взрывчатого вещества меньшей массы (5, 8 и 10 кг). В связи с этим был уменьшен шаг дренажно-взрывных скважин до 3 м в осях 1...2 и 3...4, и до 4 м – в остальных секциях. Заряды взрывчатого вещества (гранулол) располагались на глубине 12,0 и 9,0 м соответственно.

Работы по уплотнению лессовых просадочных грунтов предварительным замачиванием с использованием энергии взрыва были произведены на расстоянии 10,5 м от фундамента существующего десятиэтажного жилого крупнопанельного здания № 4. Инженерно-геологические условия площадки строительства осложнены наличием просадочных грунтов второго типа мощностью около 30 м. Применение системы сейсмогасящих и водозащитных экранов позволило выполнить работы по подготовке оснований в соответствии с действующими нормативными документами.

Зарегистрированная амплитуда горизонтальных вибро смещений соседнего жилого дома (при глубинных взрывах зарядом массой 5 кг) по результатам натурных замеров в уровне 1-го и 10-го этажей соответственно

равна 0,26...0,68 мм и 0,37...1,78 мм. Интенсивность колебаний основания дома составила 3...3,5 балла, что не превышает допустимого значения, определяемого нормами [7, 6], и равного 4 баллам. Снижение интенсивности вертикальных колебаний грунта за сейсмозащитным экраном зарегистрировано при взрывах ближайших к существующему зданию зарядов в 1,2...2,2 раза.

Дополнительная осадка существующего жилого дома после замачивания грунта не зафиксирована, а мгновенная осадка после производства взрывов составила 6...24 мм. Максимальный поперечный крен по состоянию на 10.03.1993 г. равен $0,003 < [i_u] = 0,005$.

Изменение прочностных и деформационных характеристик грунтов в результате гидровзрывного уплотнения произошло спустя 2 месяца. После выполнения взрывных работ произошло улучшение строительных свойств этих грунтов: модуль деформации в водонасыщенном состоянии возрос с 1,3...6,6 МПа до 2,8...7,5 МПа (в естественном состоянии 3,1...9,2 МПа); угол внутреннего трения водонасыщенного грунта увеличился с $21^\circ...24^\circ$ до $22^\circ...26^\circ$, а удельное сцепление – с 0,009...0,026 до 0,011...0,028 МПа. Средняя плотность сухого грунта в теле грунтовой подушки зафиксирована $17,0 \text{ кН/м}^3$, что соответствует требованиям действующих нормативных документов.

При этих исходных данных была сформирована расчетная модель здания с грунтовым массивом и сейсмозащитными экранами, при этом учтена односторонняя упругая связь конструкций фундаментов с основанием специальными КЭ № 265. Учтены также место и глубина расположения зарядов, а также деформированная схема здания по данным обследования [8]. Расчетная модель приведена на рис. 1.

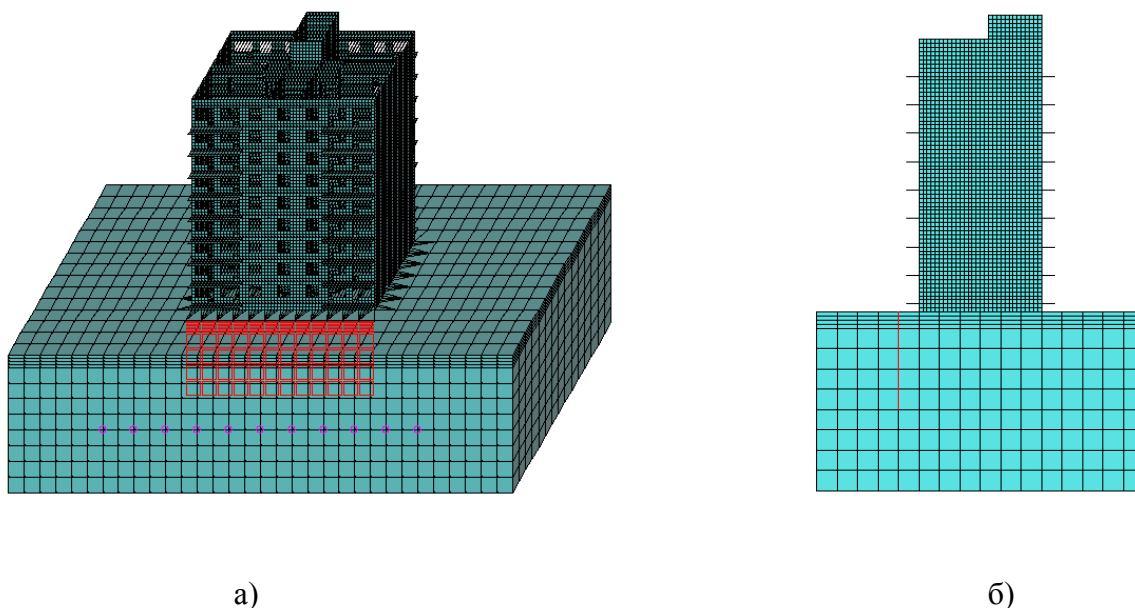


Рис. 1. Расчетная модель взаимодействия здания с основанием при гидровзрыве с сейсмозащитным экраном и местами расположения зарядов: а) аксонометрия; б) вид с торца секции

Динамические характеристики собственных колебаний системы по формам, на которые приходится максимум использования модальных масс, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики собственных колебаний модели здания при гидровзрыве

Модель	№ формы	Собственные значения	Частоты		Период, с
			Круговая, 1/с	Линейная, Гц	
Здание бескаркасное. Динамическая нагрузка от гидровзрыва (глубина зарядов 9...12 м)	1	0.23	4.33	0.69	1.45
	2	0.18	5.60	0.89	1.12
	3	0.14	7.41	1.18	0.85
	4	0.12	8.16	1.30	0.77
	5	0.11	9.31	1.48	0.68
	6	0.10	9.95	1.58	0.63
	7	0.10	10.04	1.60	0.63
	8	0.10	10.19	1.62	0.62
	9	0.09	10.50	1.67	0.60
	10	0.09	10.63	1.69	0.59
	11	0.09	11.15	1.77	0.56

Для получения характеристик колебаний здания (виброперемещений, виброскоростей и виброускорений) при гидровзрыве был выполнен расчет модели, приведенной на рис. 1, на динамические воздействия во временной области.

Период времени, за который были определены динамические характеристики, принят равным 10 секундам. В результате расчета были получены параметры вертикальных и горизонтальных колебаний контрольных точек, в которых были осуществлены натурные замеры.

В результате интегрирования уравнений движения получен график изменений кинетической энергии системы «здание-основание» при гидровзрыве, который позволяет интегрально судить о характере прохождения процесса. График изменений кинетической энергии этой системы во времени приведен на рис. 2.

Данные по динамическим характеристикам в контрольных точках здания (в уровне 1-го и 10-го этажей) по результатам натурных замеров и результаты расчетов для характерных узлов здания приведены в табл. 2, параметры их колебаний (виброперемещения, виброскорости и виброускорения) при гидровзрыве – на рис. 3.

Расчет динамики во времени выполнялся при условии последовательного

подрыва зарядов. При этом продолжительность воздействия была принята равной 10 секундам для обеспечения возможности проявления демпфирующих свойств основания и получения нескольких частотных гармоник.

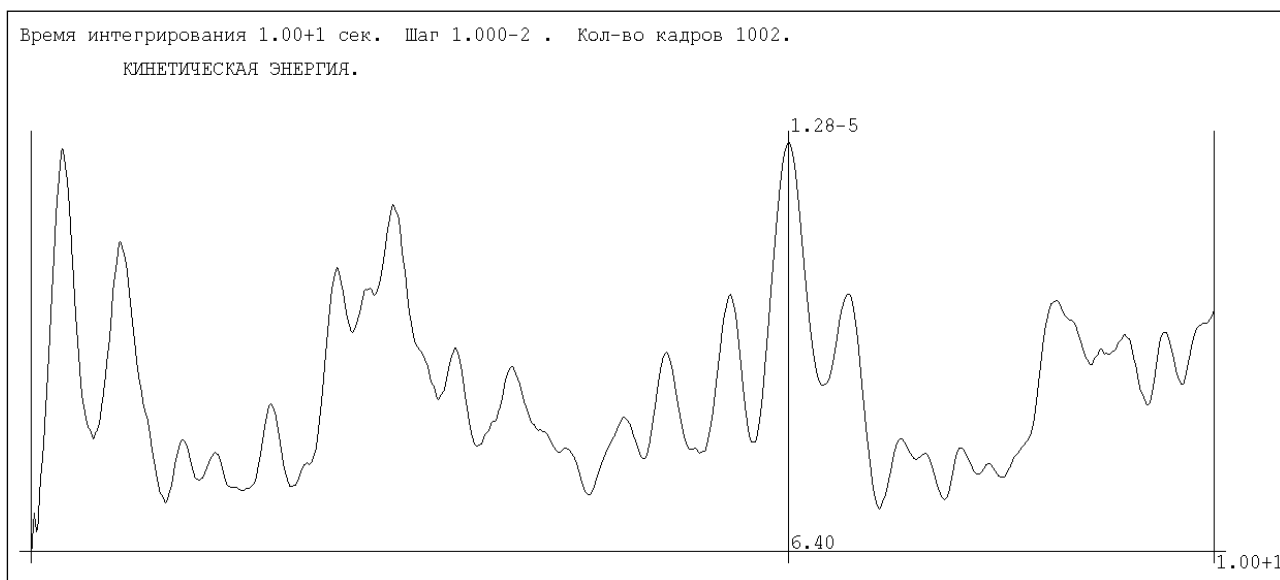


Рис. 2. График изменений кинетической энергии системы «здание-основание» при гидровзрыве во временном интервале 10 секунд

Таблица 2.

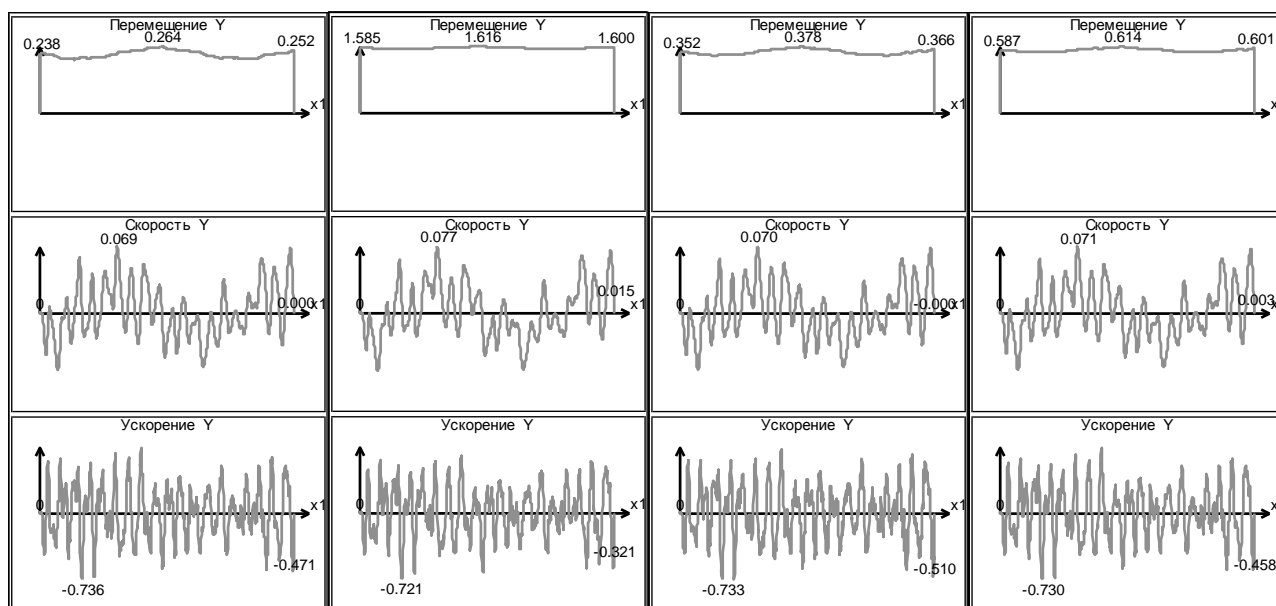
Динамические характеристики в контрольных точках здания по данным натурных замеров и результатам расчета

Данные	Расположение контрольных точек	Динамические параметры, амплитуды		
		перемещений, мм	скоростей, мм/с	ускорений, мм/с ²
Натурные замеры	1-й этаж	0.26...0.68	не измерялась	не измерялось
	10-й этаж	0.37...1.78	не измерялась	не измерялось
Результаты расчета	1-й этаж	0.24...0.61	0.069...0.071	0.458...0.736
	10-й этаж	0.35...1.62	0.070...0.077	0.321...0.733

Амплитуды (виброперемещения) 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.

Анализ результатов расчета, представленных для контрольных точек здания (простенок и подоконная часть в уровне низа оконных проемов 1-го и

10-го этажей со стороны строительной площадки с подготовкой основания гидровзрывом) в табл. 2 и их сопоставление с результатами натурных замеров позволяют сделать вывод о близости динамических характеристик (виброперемещений) при учете грунтового массива как средства передачи воздействий. Отклонения виброперемещений составляют для уровня 1-го этажа 7,7...10,3 %, для уровня 10-го этажа – 5,4...9,0 %.



а) б) в) г)

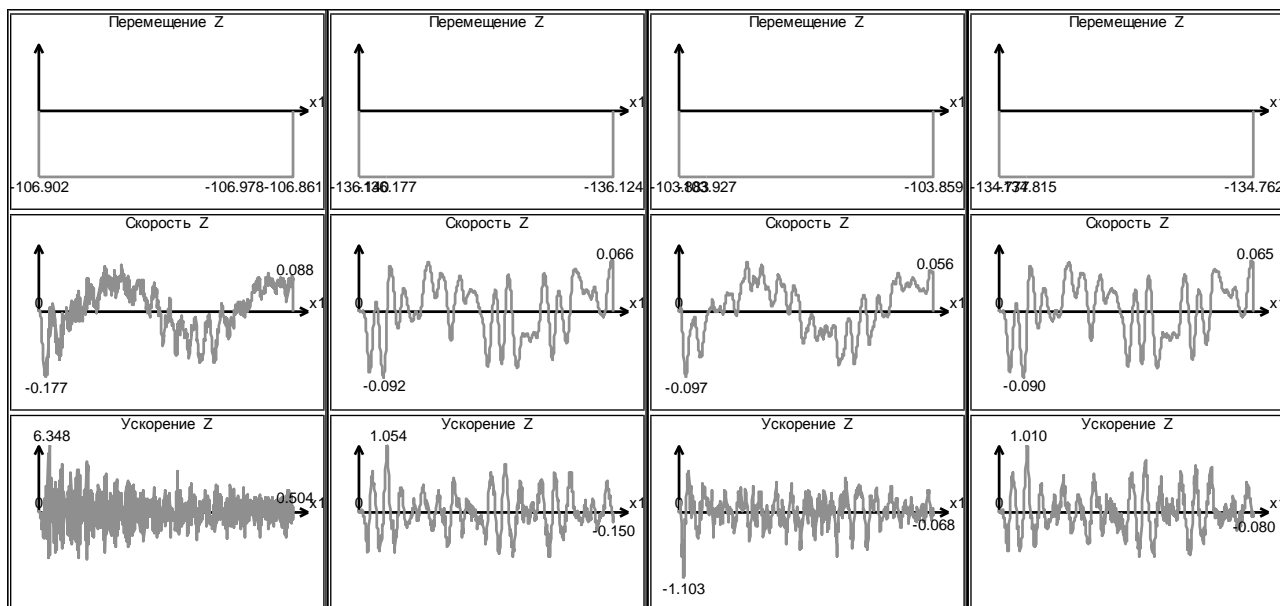
Рис. 3. Характеристики колебаний контрольных точек расчетной модели взаимодействия здания с основанием при гидровзрыве в уровне: а) 1-го этажа (подоконная часть); б) 1-го этажа (простенок); в) 10-го этажа (подоконная часть); г) 10-го этажа (простенок)

Также был выполнен анализ параметров вертикальных колебаний грунта за сейсмозащитным экраном. Для этого сопоставлялись виброперемещения, виброскорости и виброускорения для точек на поверхности грунта на одинаковом расстоянии от эпицентра в зоне действия сейсмозащитного экрана и за ее пределами. Параметры колебаний представлены на рис. 4.

При моделировании грунтового основания учет специальных мероприятий (сейсмозащитный и водозащитный экраны), а также инженерных коммуникаций и подземных сооружений, позволяет изменить динамические характеристики этой среды передачи воздействий, и привести модель к состоянию, адекватно отражающему действительную работу компонентов рассчитываемой системы.

Также можно сделать вывод о том, что устройство конструкций типа сейсмозащитных экранов способно существенно снизить влияние на здания динамических воздействий, передаваемых через массив грунта (сейсмика,

воздействия от подземного транспорта, подготовка грунта уплотнением тяжелыми трамбовками, гидровзрывом и прочие), и привести показатели прочности и комфортности для эксплуатируемых зданий в соответствие с требованиями нормативных документов.



а)

б)

в)

г)

Рис. 4. Характеристики вертикальных колебаний поверхности грунта расчетной модели взаимодействия здания с основанием при гидровзрыве: а) середина здания, за пределами зоны влияния сейсмозащитного экрана; б) то же, в пределах зоны влияния; в) торец здания, за пределами зоны влияния сейсмозащитного экрана; г) то же, в пределах зоны влияния

Выводы. Таким образом, при передаче через грунтовую толщу на здания динамических воздействий, которые возникают при подготовке оснований гидровзрывом, использование расчетной модели взаимодействия с грунтовым основанием, представленным объемными КЭ, дает результаты достаточной точности. Это объясняется кратковременностью взрывного – импульсного – воздействия, при котором мгновенная реакция системы близка к упругой, и диссипативные свойства основания не успевают проявиться в полной мере.

При моделировании грунтового основания учет его структуры и специальных подземных сооружений позволяет изменить динамические характеристики модели и привести её к состоянию, отражающему действительную работу рассчитываемой системы. Устройство сейсмозащитных экранов способно существенно снизить влияние на здания динамических воздействий, передаваемых через массив грунта, и привести показатели прочности и комфортности для эксплуатируемых зданий в соответствие с требованиями нормативных документов.

Литература

1. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1968. – 432 с.
2. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах / Крутов В. И. – К.: Будівельник, 1982. – 224 с.
3. Литвинов И. М. Укрепление и уплотнение просадочных грунтов в жилищном и промышленном строительстве / Литвинов И. М. – К.: Будівельник, 1977. – 288 с.
4. Ляхов Г. М. Взрывные волны в грунтах / Г. М. Ляхов, Г. И. Покровский. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 104 с.
5. Иванов П. Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами / Иванов П. Л. – М.: Недра, 1983. – 230 с.
6. Рекомендации по уплотнению просадочных грунтов большой мощности гидровзрывным методом. – М.: Стройиздат, 1984. – 56 с.
7. Единые правила безопасности при взрывных работах : НПАОП 0.00-1.17-92. : с изменениями 1997 г. – Харьков: ФОРТ, 1997. – 172 с.
8. Провести исследование процесса уплотнения просадочных грунтов гидровзрывным методом в условиях частично застроенной территории и оказать научно-техническую помощь при внедрении данного метода на площадке строительства дома №5 в 17 микрорайоне Хортицкого жилмассива г. Запорожья : научно-технический отчет. – Запорожье: ЗО НИИСК, 1993. – 133 с.

Анотація

Наведено результати дослідження динамічної реакції моделі будівлі при штучному покращенні властивостей ґрунтових основ гідровибухом. Вивчено зміну динамічних характеристик розрахункової моделі з урахуванням конструкції сейсмосахисного екрану.

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

Annotation

Results of researches of dynamic reaction of model of the building after the improvement of properties of the soil grounds with hydroblast are brought. Changing of dynamic parameters of the research model with the account of construction for seismic defense is shown.

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