

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЄГУПОВ Вячеслав Костянтинович

УДК 624.012.45.042

ДИСЕРТАЦІЯ
**МЕТОДИ ОЦІНКИ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди.

192 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають поси-
лання на відповідне джерело

_____ В.К. Єгупов

Науковий керівник Дорофєєв Віталій Степанович, доктор технічних
наук, професор

Одеса - 2018

АНОТАЦІЯ

Егупов В.К. Методи оцінки сейсмостійкості будівель та споруд, кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового степеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції будівлі та споруди» (192 – Будівництво та цивільна інженерія). Одеський національний морський університет, Одеса, 2018.

У дисертації розглянуто питання проектування і експлуатації сейсмостійких будівель і споруд. Аналіз сейсмостійкості будівель та гідротехнічних споруд зведених в сейсмічних районах України показав, що фактичні сейсмічні навантаження на споруди значно перевищують розрахункові навантаження, які були визначені нормативними документами до 2006 року.

Розкрито стан наукової проблеми, обґрунтована актуальність, викладена мета, завдання та робочі гіпотези виконаних досліджень. Охарактеризовано наукову новизну, практичну цінність роботи та відомості про її апробацію, надана загальна характеристика дисертації.

Наведено короткий огляд досліджень деформації будівель і споруд при землетрусах, відзначено, що в останні роки був накопичений значний досвід в області розробки теорії сейсмостійкості з урахуванням просторової поведінки конструкцій. У той же час, проблема хвильової природи сейсмічних впливів вивчалася епізодично, мало робіт присвячено врахуванню кінцевої швидкості поширення сейсмічних хвиль. Для ефективного вирішення цієї проблеми було обґрунтовано можливість і доцільність спрощення моделей споруд шляхом приведення об'ємної задачі до двовимірної. Систематизовано та узагальнено наявні дані по оцінці несучої здатності будівель і споруд в умовах сейсмічних впливів.

Проаналізовано основні підходи до проведення сейсмічного мікрорайонування (СМР); запропоновано практичний підхід до уточнення прогнозованої сейсмічної інтенсивності (бальності) будівельних майданчиків з ураху-

ванням результатів детального сейсмічного районування (ДСР) і сейсмічного мікрорайонування (СМР); розроблена апаратура і методика польових досліджень; розроблено напівемпіричну методику побудови розрахункових акселерограм; встановлено, що нерівномірності поля коливань ґрунту, фільтрація сейсмічних хвиль геологічним середовищем і виникнення резонансних коливань в спорудах при сильних підкорових землетрусах зони Вранча можуть привести до збільшення сейсмічних навантажень у декілька разів; запропоновано рекомендацію, згідно якої уточнення сейсмічності майданчиків будівництва повинно виконуватися на основі сейсмічного мікрорайонування.

Розроблено аналітичні і чисельно-аналітичні методи розрахунку для регулярних споруд; удосконалено метод зниження розмірності просторових об'єктів; розроблено алгоритми розрахунку регулярних будівель і причальних споруд на сейсмічні впливи; виконане порівняння результатів розрахунку споруд з використанням різних програмних комплексів показало високу точність запропонованих методів.

Наводяться результати розрахунку для трьох об'єктів і порівняння одержаних результатів з результатами застосування методик викладених в третьому розділі. Виконано перевірочні розрахунки конструкції причалу судноремонтного пірсу № 2 ТОВ «Іллічівського судноремонтного заводу» з використанням учбових програмних комплексів SCAD (спектральний метод) PLAXIS (розрахунок на синтезовані акселерограми). Розрахунок укриття машинного залу газової станції Орлівка 2 та 24-х поверхового житлового будинку (житлова будівля № 1 і № 2) за адресою: пров. Середньофонтанський, 1-а, Приморський район, м. Одеса, виконувались з використанням ПК ЛІРА-САПР.

Ключові слова: клас наслідків (відповідальності), землетруси, сейсмічне мікрорайонування, розрахункові акселерограми, будівлі, споруди

ANNOTATION

Egupov V.K. Investigation of seismic resistance of buildings and structures, qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Diploma for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.01 "Building structures of buildings and structures" (192 - Construction and civil engineering). Odessa National Marine University, Odessa, 2018.

The dissertation is devoted to the design and operation of seismic buildings and structures. The analysis of seismic resistance of buildings and hydrotechnical structures erected in seismic regions of Ukraine has shown that actual seismic load on buildings significantly exceeds the estimated loads that were determined by normative documents by 2006.

The state of the scientific problem is revealed, the relevance is substantiated, the purpose, tasks and working hypotheses of the performed research are stated. The scientific novelty, practical value of work and information about its approbation are characterized, the general characteristic of the dissertation is given.

A brief review of the studies of the deformation of buildings and structures during earthquakes is given. It is noted that in recent years considerable experience has been gained in developing the theory of seismic resistance taking into account the spatial behavior of structures. At the same time, the problem of the wave nature of seismic influences was studied episodically, few works devoted to the consideration of the final velocity of the spread of seismic waves. For the effective solution of this problem, the possibility and expediency of simplifying the models of buildings by bringing the volume problem to two-dimensional was substantiated. The available data on the assessment of the carrying capacity of buildings and structures in the conditions of seismic influences are systematized and generalized.

The basic approaches to the conduct of seismic microrayonation are analyzed; A practical approach to specifying the predicted seismic intensity of the building sites is proposed, taking into account the results of detailed seismic zoning (DSR) and seismic microrayonation; developed equipment and methods of field research; semiempirical method of constructing calculated accelerograms was

developed; It has been established that irregularities of the field of oscillations of the soil, seismic wave filtration into the geological environment and the occurrence of resonant oscillations in buildings under strong suburban earthquakes in the Vbranch zone can lead to an increase in seismic loads several times; A recommendation is proposed that the seismicity of the construction sites should be performed on the basis of seismic microzoning.

Analytical and numerical-analytical calculation methods for regular structures are developed; the method of reducing the dimension of spatial objects is improved; algorithms of calculation of regular buildings and berthing structures for seismic influences are developed; a comparison of the results of calculating the buildings using various software complexes showed the high accuracy of the proposed methods.

The results of the calculation for the three objects and the comparison of the results with the results of the application of the methods described in the third section are presented. Verification calculations of the construction of the berth of the ship repair yard No. 2 of the LLC "Ilichevsk Ship Repair Plant" were carried out using the SCAD educational program complexes (spectral method) PLAHIS (calculation on the synthesized accelerograms). Calculation of the closing of the engine room of the gas station Orlivka 2 and 24-storey residential building (residential building number 1 and number 2) at the address: prov. Srednefontansky, 1 st, Primorsky District, Odessa, were performed using the PC LIRA-CAD.

Key words: class of consequences (responsibility), earthquake, seismic microzoning, calculated accelerograms, buildings, structures

АННОТАЦИЯ

Егупов В.К. **Методы оценки сейсмостойкости зданий и сооружений**, квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции здания и сооружения» (192 - Строительство и гражданская инженерия). Одесский национальный морской университет, Одесса, 2018.

В диссертации рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации зданий, с учетом влияния грунтовых условий площадок строительства. Анализ сейсмостойкости зданий и гидротехнических сооружений возведенных в сейсмических районах Украины показал, что фактические сейсмические нагрузки на сооружения значительно превышают расчетные нагрузки, которые были определены нормативными документами до 2006года. Проектирование гидротехнических сооружений должно осуществляться с учетом находящихся на причале перегрузочных комплексов, при надлежащем научном сопровождении.

В диссертации рассмотрены вопросы расчета зданий и сооружений повышенной ответственности на сейсмические воздействия. Показано что не учет ряда геофизических факторов приводит к значительному изменению величин сейсмических воздействий, часто в опасную сторону. Для оценки надежности объектов повышенного класса ответственности (СС2 и СС3) необходимо получить дополнительные геофизические данные (скорость прохождения волны под сооружением, преобладающий период колебания грунта и синтезированные акселерограммы с учетом грунтовых условий площадки строительства). При проектировании ответственных сооружений класса СС2 и СС3 в сложных инженерно-геологических условиях необходимо учитывать требования ДБН В.1.1:12-2014 «Строительство в сейсмических районах Украины», соблюдение которых позволит обеспечить эффективную работу, надежность и долговечность строительных конструкций. Сейсмостойкость зда-

ний и сооружений в значительной мере зависит от их конфигурации, расположения и типа конструктивных элементов, учета пространственной работы сооружений и конечной скорости прохождения сейсмических волн под ними в условиях реального сейсмического воздействия. Теоретическое моделирование сейсмических воздействий и численные эксперименты позволили установить, что неравномерности поля колебаний грунта, фильтрация сейсмических волн геологической средой и возникновение резонансных колебаний в сооружениях при сильных подкоровых землетрясениях зоны Вранча может привести к увеличению сейсмических нагрузок в несколько раз. Построенные с учетом результатов СМР расчетные акселерограммы и спектры реакции открывают возможность существенного удешевления сейсмостойкого строительства за счет оптимального выбора конструктивных решений, позволяющих избежать совпадения преобладающих частот, соответствующих пиковым ускорениям в сейсмических волнах, резонансных частот подстилающей грунтовой толщи и собственных частот проектируемого здания (сооружения), с сохранением необходимой надежности особо ответственных сооружений.

Разработана методика проведения натурных исследований сейсмостойкости зданий и морских гидротехнических сооружений. Построено и проанализировано динамическую модель зданий и сооружений. Получены данные о результатах анализа их поведения при динамических воздействиях. Разработаны расчетные схемы морских гидротехнических сооружений, которые станут базой для выполнения дальнейших расчетов.

Автором положено начало и развито направление сейсмостойкого проектирования и строительства в области морской инфраструктуры страны. Выполнены исследования сейсмостойкости зданий и причальных сооружений с учетом их пространственного поведения («работы») и моделей сейсмических воздействий близких к реальным в условиях Украины. Сформулированы основные закономерности пространственного деформирования, разработаны научные основы моделирования зданий и причальных сооружений,

созданы модели взаимодействия сооружений с бегущей сейсмической волной.

Ключевые слова: класс последствий (ответственности), землетрясение, сейсмическое микрорайонирование, расчетные акселерограммы, здания, сооружения

Список опубликованных научных работ за темой диссертации

1. Кендзера А.В. Реализация требований ДБН В.1.1-12:2006 относительно параметров сейсмических воздействий для сейсмостойкого проектирования в г. Одессе / [А.В. Кендзера, С.Т. Вербицкий, Ю.Т. Вербицкий, О.Т. Вербицкая, В.К. Егупов, К.В. Егупов, С.П. Ковальчук, Р.И. Прокопец] / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції.- К.:НДІБК.- 2008.- вып.69.-С. 45-55

2. Егупов К.В. Инструментальные записи для оценки сейсмической опасности Одесского региона / Егупов К.В., Бондаренко А.С., Егупов В.К. / Вісник ОДАБА – Одеса 2013.- вип.49.- С.143-149

3. Кендзера А.В. Мониторинг сейсмичности Юго-Западных областей Украины и сопредельных территорий / [А.В. Кендзера, В.К. Егупов, К.В. Егупов] / Вісник Одеського національного університету – Одеса 2013.- Том 18. Випуск 1 (17).- С.70-83

4. Немчинов Ю.И. Практичні питання динаміки будівель / Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г., Жарко Л.О., Дунін В.А., Бабік К.М., Єгупов К.В., Кендзера О.В., Єгупов В.К., Булат А.Ф., Дирда В.І., Лисиця М.І. / Будівництво України, листопад 2013. – С.6-14.

5. Определение параметров сейсмических воздействий для сейсмостойкого проектирования в г. Одессе /Кендзера А.В., Дорофеев В.С. Егупов К.В. Вербицкий С.Т. ,Егупов В.К. та інш.] // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах: матер. наукової конф.-семінару, присвяченої пам'яті Т.З. Вербицького та Ю.Т. Вербицького, 3-5 червня 2014 р., Львів. - С. 79-91.

6. Kendzera A., Yegupov K., Yegupov V. Seismic monitoring of the southwestern areas of the Ukraine and adjacent areas / 15 European Conference on Earthquake Engineering Istanbul Turkey , 24 to 29 august 2014
7. Ковальчук С.П. Пример не корректного районирования с использованием категорий сейсмических свойств грунтов / Ковальчук С.П, Киртока В.А., Егупов В.К. Міжвідомчий науково-технічний збірник Будівельні конструкції, Випуск 82, – Київ, ДП НДІБК, 2015. –С.303-308.
8. V. Dorofeyev, K. Iegupov., O. Murashko, V. Iegupov Seimological and Seismometric investigations In the Odessa region, Ukraine /International conference on earthquake engineering and seismology, 12-16 may 2015 Oslo.
- 9 Дорофеев В.С., Егупов В.К. /Уязвимость железобетонных зданий при сейсмических воздействиях / сборник научных трудов «Проблемы современного бетона и железобетона» «Институт Бел НИИС», Беларусь , 2015
- 10 O. Murashko, V. Dorofeev, O.Mihailov, V. Yegupov, N. Mihailova /Problem of non-conformity of computational model and results of vibration tests of multistory buildings with girderless construction /“OVIDIUS“ University annalis – constantza series: civil engineering analele universitatii „OVIDIUS“ din constanta seria: constructii, Romania, 2015
11. , V. Dorofeev Structural systems of seismic resistant buildings in the Odessa region of the Ukraine / V. Dorofeev, O. Murashko, V. Iegupov / Quality/Mobility and globalization in the Higher Education System, NovaScience Publishers, Inc. New York, 2016
12. Комплексная модель «сооружение – свайный фундамент» для оценки сейсмостойкости многоэтажных зданий / Дорофеев В.С., Сорока Н.Н., Егупов К.В., Егупов В.К. Міжвідомчий науково-технічний збірник Будівельні конструкції, Випуск 83,книга 2 – Київ, ДП НДІБК, 2016. –С.44-53
13. Егупов К.В. Развитие пространственных моделей сооруженей и сейсмических воздействий /Егупов К.В., Егупов В.К. «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва», Збірка тез, міжнародної науково-

технічної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження професора В.К. Єгупова, 25-29 жовтня 2016р.

14. Егупов В.К. Применение результатов сейсмического микрорайонирования при проектировании высотных зданий в Одессе. / Егупов В.К. науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси, Збірка Тез, ОДАБА 22-24 вересня 2016р. Одеса

15. Використання сейсмологічної інформації для науково-технічного супроводу проектування / [Єгупов К.В., Кендзера А.В., Вербицький С.Т., Єгупов В.К., та ін.] // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах: матер. наукової конф.-семінару, присвяченої пам'яті Т.З. Вербицького та Ю.Т. Вербицького, 1-2 червня 2017 р., с. м. т. Верхнє Синьовидне. - С. 58-61.

16. Егупов В. К. Нагрузки и воздействия на объекты повышенного класса ответственности / Егупов В.К., Дорофеев В. С. /international research and practice conference, modern methods, inovations, and experience of practical application in field of technical sciences/ Radom, Republic of Poland, December 27-28, 2017 p.118-122.

17. Дорофеев В.С. Особенности определения нагрузок и воздействий на объекты повышенного класса ответственности [Егупов К.В., Егупов В.К., Кендзера А.В., Немчинов Ю.И., Семенова Ю.В., Сорока Н.Н.]/ Наука та Будівництво 4{14} 2017 с11-20.

18. Егупов В. К. Нагрузки и воздействия на объекты повышенного класса ответственности Одесского региона / Егупов В.К., Дорофеев В. С. / Актуальные научные исследования в современном мире выпуск 12(32) Часть 1 Переяслав-Хмельницкий Декабрь 2017 г. С.92-99

19. Дорофеев В. С. Проектирование многоэтажных зданий на свайных фундаментах с учетом сейсмических воздействий /К. В. Егупов, В. К. Егупов / Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(17), Issue: 157, Budapest 2018 pp 11-14.

20. Дорофеев В. С. Анализ уязвимости многоэтажных зданий при сейсмических воздействиях / К. В. Егупов, В. К. Егупов/ Актуальные научные исследования в современном мире выпуск 1 (33) Часть 1 Переяслав-Хмельницкий Январь 2018 г. С.19-25.

21. Alexander Kendzera Use of seismological information for the design of multistory buildings / Konstantin Iegupov , , Yuliia Semenova, Slava Iegupov, Yurii Lisovyi / 16th European conference on earthquake engineering , Thessaloniki 18-21 June 2018

22. Кендзера О.В. Вплив локальних ґрунтових умов на сейсмічні коливання майданчика ташлицької ГАЕС /Семенова Ю.В., Єгупов В.К., Лісовий Ю.В., Вербицький С.Т. / збірка тез доповідей Одинацата всеукраїнська науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» 10-14 вересня 2018р. м.Одеса

23. Безушко Д.І. Визначення загальних критеріїв ймовірності безвідмовної роботи причальних споруд естакадного типу при сейсмічній дії / Безушко Д.І., Єгупов К.В., Єгупов В.К./ збірка тез доповідей Одинацата всеукраїнська науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» 10-14 вересня 2018р. м.Одеса

24. Егупов К.В. Сейсмостойкость морских причальных сооружений естакадного типа / Егупов К.В., Мельцов Г.И., Егупов В.К. ./ збірка тез доповідей Одинацата всеукраїнська науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» 10-14 вересня 2018р. м.Одеса

25. Немчинов Ю.И. Участие украинской делегации АУСС в 16 Европейской конференции по сейсмостойкому строительству / Немчинов Ю.И., Егупов К.В., Кендзера А.В., Егупов В.К. / збірка тез доповідей Одинацата всеукраїнська науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» 10-14 вересня 2018р. м.Одеса

26. Iegupov K. Dynamic calculation of the pile supported wharf / Meltsov G., Iegupov V., Bezushko D./ Academic journal. Series:Industrial Machine Building, Civil Engineering, Issue 2(51), Poltava, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ	
СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	22
1.1. Сейсмічна небезпека Одеського регіону	22
1.2 Аналіз наслідків катастрофічних землетрусів	26
1.2.1 Пошкодження причальних гідротехнічних споруд під час значних землетрусів.....	26
1.2.2 Аналіз сильних землетрусів.....	31
1.3 Розвиток методів розрахунку будівель і споруд на сейсмічні впливи	34
1.3.1. Статична теорія сейсмостійкості	36
1.3.2 Динамічна теорія сейсмостійкості.....	37
1.3.3 Спектральна теорія сейсмостійкості	39
1.3.3.1 Впровадження в розрахункову практику просторових моделей будівель і сейсмічних впливів.....	43
1.3.4 Чисельний розв'язок задач прямим динамічним методом	44
1.3.5. Сучасні напрямки досліджень в теорії сейсмостійкості споруд	45
1.3.6 Розвиток нормативних моделей сейсмічних впливів.....	47
1.4. Сейсмостійкість будівель і споруд за діючими нормами	48
1.4.1 Аналіз методів випробування споруд на динамічні впливи.....	49
1.5. Метод оцінки мікросейсмічних коливань.	50
Висновки до розділу 1.....	53
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ НА БУДІВЛІ І	
СПОРУДИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО	
СЕЙСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	55
2.1. Уточнення прогнозованої сейсмічної інтенсивності (бальності) будівельних майданчиків з урахуванням результатів ДСР і СМР. Карти ОСР для Одеського регіону.....	55

2.2	Акселерограми землетрусів з місцевих вогнищевих зон і зони Вранча, зареєстрованих в Одесі в 2009 – 2018 роках.....	58
2.2.1	Методика побудови розрахункових акселерограм на основі емпіричних даних і теоретичного моделювання.	61
2.2.2	Характеристики середовища на майданчиках Одеського регіону.....	68
2.2.3	Інтерпретація даних інструментальних спостережень методом сейсмічних жорсткостей.....	71
2.3	Визначення навантажень і впливів на об'єкти підвищеної відповідальності.	79
2.4	Уточнення сейсмічного ризику.....	82
2.4.1	Рекомендацій з використання розрахункових акселерограм	90
2.5	Апаратура і методика польових досліджень	92
	Висновки по розділу 2	95
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ДІНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД		98
3.1	Закономірність у реальній роботі конструкцій при динамічних впливах.	100
3.2	Скінечно-елементна апроксимація просторових об'єктів.....	101
3.3	Дискретизація просторової моделі причальної споруди.....	102
3.4	Розрахунок на горизонтальні сейсмічні дії	106
3.5	Розрахунки спектральним методом на сейсмічні дії.....	119
	Висновки по розділу 3	125
РОЗДІЛ 4 ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ПРИ РОЗРАХУНКАХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....		127
4.1.	Розрахунок причальних споруд на синтезовані акселерограми.....	127
4.2.	Розрахунок укриття машинного залу газвої станції Орловка 2 на синтезовані акселерограми.....	133
4.3.	Розрахунок багатопверхового будинку на синтезовані акселерограми	141

Висновки по розділу 4	151
ВИСНОВКИ.....	153
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
Додаток А Впровадження результатів досліджень	165
Додаток Б Розрахункови акселерограми, що моделюють землетрусу із зони Вранча	169
Додаток В Список опублікованих наукових праць за темою дисертації.....	190
Додаток Г Відомості про апробацію результатів дисертації	195

ВСТУП

Актуальність теми. Землетрус є найсерйознішим і об'єктивним іспитом для будь-якої ідеї, спрямованої на підвищення сейсмостійкості будівель та споруд. У матеріалах про поведінку будинків і споруд при землетрусах є чимало відомостей, що дозволяють судити про реакцію будівель та споруд на сейсмічні впливи. Збереження будівель і споруд при реальних землетрусах, зумовила популярність сейсмостійкого проектування на основі прогнозування кількісних характеристик майбутніх сейсмічних впливів в багатьох країнах, що ведуть сейсмостійке будівництво.

Сейсмічні райони з прогнозованою інтенсивністю землетрусів 7, 8 і 9 балів займають до 20 % території України. У них розташовано багато промислових і культурних центрів з великими обсягами будівництва. Раціональне проектування сейсмостійких конструкцій, підвищення їх надійності має важливе народногосподарське значення.

Аналіз сейсмостійкості споруд, що були зведені в сейсмічних районах України показав, що фактичні сейсмічні навантаження на споруди значно перебільшують розрахункові навантаження, які були визначені нормативними документами.

Виконане моделювання сейсмічних впливів і проведені чисельні експерименти дозволили встановити значний вплив хвильових процесів у ґрунтах на реакцію будівлі, споруди як єдиної просторової системи.

Співвідношення вертикальної і горизонтальної компонент знаходиться в складній залежності від багатьох факторів: епіцентральної відстані, глибини вогнища, типу переважаючих хвиль. Складові сейсмічних прискорень є взаємно корельованими випадковими процесами. Тому при дослідженні характеру сейсмічних рухів необхідно враховувати взаємопов'язаність їх складових.

Для вивчення перерахованих вище факторів слід використовувати просторові розрахункові схеми, в яких враховуються реальні властивості конструкцій.

Вирішення цього завдання вимагає дослідження нових видів сейсмічних реакцій. З цієї причини дослідження таких питань, як вплив сейсмічних коливань, врахування взаємодії вертикальних і горизонтальних коливань є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики країни відповідно до таких Постанов Кабінету Міністрів України:

№ 409 від 5 травня 1997 року "Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж";

№ 1313 від 21 серпня 2000 р. "Про затвердження програми попереджень та реагувань на надзвичайні ситуації технічного і природного характеру на 2000 ÷ 2005 р.р. з метою комплексного вирішення проблем захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на користь безпеки кожної людини, суспільства, національного надбання та навколишнього середовища ";

№156 від 25 лютого 2009 року "Про затвердження Державної цільової соціальної програми розвитку цивільного захисту на 2009 ÷ 2013 роки".

Дослідження виконані відповідно до тематики наукових розробок кафедри інженерних конструкцій і водних досліджень Одеського національного морського університету в рамках держбюджетної теми: «Теоретичні основи оцінки природних и техногенних ризиків під час будівництва та експлуатації портових і шельфових споруд, № 0117U000617».

Мета і завдання роботи. Метою дослідження є розробка нових та удосконалення існуючих методів розрахунку будівель, споруд і їх відповідальних конструкцій на сейсмічні впливи для оцінки їх сейсмостійкості, з використанням дискретних скінчено-елементних і континуальних динамічних розрахункових моделей.

Виходячи з мети, поставлені наступні завдання дисертаційного дослідження:

- систематизувати та узагальнити існуючі дані по оцінці несучої здатності і деформативності будівель і споруд в умовах сейсмічної небезпеки, намітити шляхи їх подальшого розвитку;
- розробити апаратуру і методику польових досліджень, яка дозволяє отримати реальні дані про коливання ґрунту на майданчиках будівництва;
- розробити напівемпіричну методику побудови розрахункових акселерограм;
- проаналізувати сейсмічний вплив локальних інженерно-геологічних умов на будівельних майданчиках на фільтрацію сейсмічних хвиль геологічним середовищем та можливість виникнення резонансних коливань в будівлях та спорудах;
- розробити аналітичні і чисельно-аналітичні методи розрахунку для регулярних споруд;
- розробити новий метод пониження мірності просторових об'єктів;
- виконати дослідження поведінки будівель і споруд при сейсмічних впливах;
- здійснити апробацію запропонованих підходів, моделей, прикладних методик для оцінки несучої здатності будівель і споруд.

Об'єкт дослідження – поведінка конструкцій будівель і споруд при сейсмічних впливах в різних ґрунтових умовах будівельних майданчиків.

Предмет дослідження – сейсмічні впливи на будівлі і споруди з урахуванням сейсмостійкості конструкцій та ґрунтових умов на майданчику будівництва.

Методи дослідження. Для реалізації поставленої мети і завдань дослідження використовувався комплекс сучасних експериментально-теоретичних методів будівельної механіки, теорії сейсмостійкості і динаміки споруд, сейсмічного мікрорайонування.

Наукова новизна роботи характеризується отриманими новими науково обґрунтованими результатами, які визначають реальні сейсмічні навантаження на конструкції і в сукупності прогнозують сейсмічну реакцію будівель і споруд та їх елементів при землетрусах.

За результатами наукових досліджень в дисертаційній роботі вперше:

- розроблено методика побудови розрахункових акселерограм на основі емпіричних даних і теоретичного моделювання. Отриманні розрахункові акселерограми, що моделюють землетруси із зони Вранча;

- запропонований метод розрахунку будівель і споруд на знаковмінні сейсмічні впливи, задані акселерограмами, в яких враховано прогнозований спектральний склад коливань ґрунту на майданчику;

- розроблена методика визначення сейсмічних навантажень на висотні будівлі на основі спектрального методу і при впливах заданих акселерограмами;

Вдосконалені:

- методика розрахунку нелінійних переміщень будівель, що дозволяє визначати стан конструкцій після землетрусу, проектувати сейсмостійкі і економічні конструкції;

- аналітичний метод розрахунку частот і форм власних коливань будівлі, який відрізняється від існуючих більш загальним підходом;

- спосіб формування пакету розрахункових акселерограм для конкретного об'єкта будівництва, які викликають найбільші внутрішні напруження в елементах його конструкцій;

- рекомендації щодо визначення сейсмічних навантажень на будівлі і споруди у сейсмічних районах України.

- апаратура і методика польових досліджень.

Практичне значення отриманих результатів.

- запропонована система проектування дозволяє оцінити сейсмостійкість будівель і споруд. Вона дає можливість достовірно визначити напружено-деформований стан конструкцій причальних споруд з урахуванням конструктивних і технологічних особливостей та використанням сучасних програмних комплексів.

- використані підходи є доступними, відповідають сучасному рівню і можуть застосовуватися при масовому проектуванні, а також при науково-технічному супроводі складних об'єктів.

- результати дослідження впроваджені: в навчальний процес Одеського Національного морського університету при підготовці бакалаврів і магістрів напряму «будівництва» і «гідротехнічне будівництво».

- результати досліджень успішно застосовувалися при визначенні розрахункової сейсмічності в портах Південний та Іллічівський.

- результати досліджень успішно застосовувалися при визначенні розрахункової сейсмічності та науково-технічному супроводі проектування об'єктів: будівництво багатоповерхових житлових будинків з вбудовано-прибудованими житловими приміщеннями, з паркінгом та благоустроєм прилеглої території за адресою: місто Одеса, провулок Середньофонтанський, 1-А; будівництва багатоквартирного чотирьохсекційного 14-ти поверхового житлового будинку із вбудовано-прибудованими приміщеннями суспільного призначення з вбудовано-прибудованим підземним паркінгом за адресою: с. Крижанівка, вул. Марсельська на території Крижанівської сільської ради Лиманського району Одеської області; будівництво багатоповерхового житлового комплексу з підземним паркінгом і об'єктами соціально-побутового призначення за адресом: м. Одеса, вул. Овідіопольська дорога. 3; реконструкції компресорної станції «Орлівка - 2» газопроводу «Ананьїв – Тирасполь - Ізмаїл».

Практичне використання розробленої методики здійснено при будівництві причалу №10 у порту «Південний», Одеської області, та при реконструкції частини пірсу №2 ІСРЗ в с. Малодолинське, м. Чорноморськ.

Перераховані приклади практичного впровадження результатів підтверджено відповідними документами, наведеними в Додатку до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею автора і містить отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень, які вирішують науково-прикладну проблему вдосконалення методів розрахунку і оцінки сейсмостійкості будівель і споруд. Внесок полягає в постановці завдань теоретичних досліджень, розробці методик, досліджень і розрахунків, проведенні натурних динамічних обстежень будівель і споруд, науковому обґрунтуванні та розробці методів динамічного розрахунку, участь у впровадженні результатів досліджень. Автор дисертаційної роботи був відповідальним виконавцем досліджень при виконанні ряду господарських тем.

Автором започатковано і розвинуто напрямок сейсмостійкого проектування і будівництва. Виконано дослідження сейсмостійкості будівель і споруд, з урахуванням їх просторової поведінки, і моделей сейсмічних впливів. Сформульовано основні закономірності просторового деформування, зроблено наукові основи моделювання будівель і споруд.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на:

Міжнародних, європейських наукових конференціях і симпозіумах: International conference on earthquake engineering and seismology, 12-16 may 2015 Oslo; 15 European Conference on Earthquake Engineering Istanbul Turkey , 24 to 29 august 2014; 16th European conference on earthquake engineering, Thessaloniki, 18-21 june 2018; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва» (Одеса, 2016);

Всеукраїнських конференціях: «Будівництво в сейсмічних районах України» (Ялта, 2008, 2012); Десята Ювілейна Всеукраїнських конференціях

«Будівництво в сейсмічних районах України» (Одеса, 2015); Дев'ята всеукраїнська науково-технічна конференція «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування» (Дніпропетровськ, 2016); «Будівництво в сейсмічних районах України» (Одеса, 2018).

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на: науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (м Одеса, 2013-2017 рр.) та науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеського Національного морського Університету (м.Одеса, 2018).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 26 наукових працях, з яких: 7 статей опубліковані в збірниках, що входять до переліку рекомендованих ВАК України; 9 статей в збірниках що входять до наукометричних баз; 10 статей - у збірниках, виданих за матеріалами Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел (121 найменування) і додатків. Робота викладена на 199 сторінках, у тому числі 150 сторінок основного тексту, 5 повних сторінок з рисунками і таблицями, 9 сторінок списку літератури, 35 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

1.1. Сейсмічна небезпека Одеського регіону

Сейсмічна небезпека території України визначається особливістю її географічного положення. Південно-східні області країни розташовані поблизу потужного сейсмоактивного поясу планети, який утворився в результаті зіткнення Африканської, Індійської і Євразійської материкових плит. Більшість накопиченої в поясі пружної енергії реалізується безпосередньо в ньому у вигляді землетрусів різної інтенсивності. Але значна її частина передається в геологічні структури відносно спокійних тектонічних платформ, в яких можуть виникати небезпечні місцеві землетруси. До 70 років ХХ століття вважалося, що на більшій частині території України, розташованій на древній Східноєвропейській тектонічній платформі, не можуть відбуватися значні по величині сейсмічні події. Зараз відомо, що катастрофічні землетруси відбувалися на усіх древніх тектонічних платформах світу, хоча і набагато рідше, ніж в сейсмоактивних поясах. Сильні внутрішньоплитові землетруси можуть привести до великих соціальних і економічних втрат.

Близько 120 тис. кв. км (20% України) знаходяться в сейсмонебезпечних зонах з інтенсивністю від 6 до 9 балів за шкалою MSK-64, в яких проживає 10,9 млн. чол. Сейсмоактивні зони частково охоплюють: територію АР Крим (6-9 б.), Закарпатської (7 б.), Чернівецької (6-7 б.), Вінницької (6 б.), Кіровоградської (6 б.), Львівської (6 б.), Одеської (6-9 б.), Тернопільської (6 б.) і Хмельницької (6 б.) областей [2, 8].

Згідно з сучасними даними, відображеними на картах загального сейсмічного районування території України ЗСР-2004 [2], реальна сейсмічна небезпека в ряді районів країни є вищою, ніж та, що була позначена на попередніх нормативних картах СР-78 і СР-68 [4, 5].

Місто Одеса розташоване в сейсмічно небезпечній і сейсмічно активній зоні України. Вогнища найсильніших землетрусів розташовані на відстані біля 300 км від Одеси в зоні Вранча і в районі Добруджі.

Основні землетруси району Вранча.

Найбільшу сейсмічну небезпеку для Одеси представляють струшування від підкорових землетрусів зони Вранча. Тільки за останні 200 років місто Одеса 7 разів піддавалося сейсмічним впливам з $I = 6$ балів (де I – інтенсивність землетрусу) і двічі в 1802 і 1940 рр.) з $I = 7$ балів [1, 8] (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Карта-схема ізосетей землетрусів із зони Вранча: 1802 р. (а) [3] і 1940 р. (б) [4]. Цифрами поблизу назв міст позначено спостережену сейсмічну інтенсивність.

Землетрус 1802 р. 26 жовтня, з $M = 7.4$ (де M – магнітуда землетрусу), охопив величезну територію понад 2 млн. км² від Константинополя до Петербурга. На карті ізосейст цього землетрусу ([6, 13]) Одеса розташована в зоні з інтенсивністю 7 балів.

При землетрусі 1940 р. 10 листопада з $M = 7$ південно-західна частина Одеської області зазнала коливань інтенсивністю 7 балів. В Одесі землетрус тривав 3 хв. У стінах багатьох будинків з'явилися тріщини. Населення вийшло на вулиці. У деяких будинках обвалилися стіни, балкони, карнизи. У капітальній стіні готелю «Москва» утворилися тріщини. Вагони на залізниці самовільно переміщалися [5, 6].

При землетрусі 1977 р. 4 березня з $M = 6.9$ у багатьох будинках Одеси обсипалася і відвалювалася штукатурка, з'явилися тріщини в штукатурці та стінах. Один із будинків зазнав аварійних пошкоджень. Відзначено випадки пошкодження димових труб. Більшість жителів вибігли на вулиці. Землетрус супроводжувалося сильним підземним гулом. Середня інтенсивність по місту оцінена в 6 балів [7].

Після землетрусу 1986 р. 30 серпня з $M = 6.8$ була проведена кількісна оцінка наслідків сейсмічних впливів з урахуванням ступеня пошкоджень будівель різних типів. В місті Одеса пошкодження отримали 55% будівель. При цьому виявилось, що в будівлях побудованих після 1977 року, пошкодження 1 ступеня становлять 18%. Середня інтенсивність по місту Одеса була оцінена в 6 балів [7].

Землетруси району Добруджі.

На відміну від зони Вранча, район Добруджі в сейсмічному відношенні вивчений слабо. Про землетруси цього району відомо, в основному, тільки за описом макросейсмічних проявів [12]. Відзначаються дві групи епіцентрів [13].

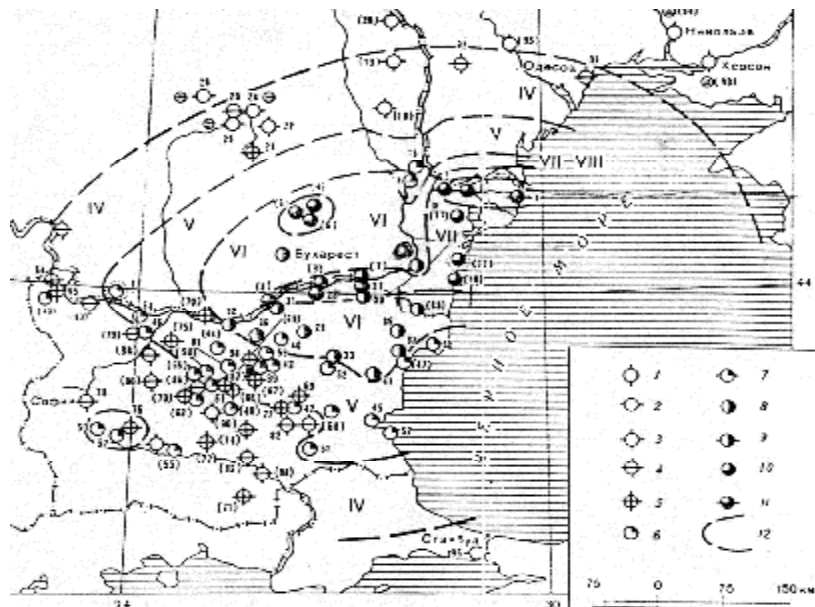


Рис. 1.2. Карта-схема ізосейст найсильнішого землетрусу в районі Добруджі 14 жовтня 1892 року. Позначення: 1 - 2-3 бали, 2 - 3 бали, 3 - 3-4 бали, 4 - 4 бали, 5 - 4-5 балів, 6 - 5 балів, 7 - 5-6 балів, 8 - 6 балів, 9 - 6-7 балів, 10 - 7 балів, 11- 7-8 балів, 12- ізосейсти землетрусу.

1. В північній частині Добруджі (поблизу міст Рені, Ісакча, Тульча, Кілія) спостерігалася інтенсивність місцевих землетрусів до 6 балів. Останній за часом землетрус з цієї групи відбувся 13 листопада 1981 року в дельті р. Дунай і був зареєстрований багатьма сейсмічними станціями. Сейсмічна інтенсивність на півдні Одеської області досягала 6 балів. В джерелах землетрусів цієї групи відзначено зсувний тип-зрушення.

2. Вогнища землетрусів другої групи розташовані в центральній і південній Добруджі (район міст Киршелаг, Бабадаг, Хиршов). Ймовірно, до цієї групи відноситься руйнівний землетрус 14 жовтня 1892 (магнітуда 7.2, інтенсивність в епіцентрі 7-8 балів) [12]. Семибальними струшуваннями була охоплена область площею близько 4500 кв.км. В м. Одесі спостерігалися сейсмічні прояви до 4 балів.

Відзначено також декілька землетрусів з району Добруджі: в межах шельфової частини: 1.06.1906 р. (6 балів), 22.06.1923 р. (4 бали). Можна навести ще землетруси: 25.12.1840 р. (5-6 балів), 3.07.1864 р. (5-6 балів). В інструментальний період спостережень відомим є землетрус 14.04.1956 р. (3-4 бали), в дельті р. Дунай.

Останній відчутний землетрус в районі Добруджі відбувся 03 жовтня 2004 року ($M = 4.7$) [17].

Місцева сейсмічність.

Місцева сейсмічність пов'язана з тектонічними порушеннями в фундаменті Східно-Європейської платформи і розривними порушеннями в області шельфу і континентального схилу західної частини Чорного моря.

Всього поблизу Одеси в радіусі 250 км достовірно відомо до 30 місцевих землетрусів з розрахунковою інтенсивністю від 2 до 5 балів [1, 14, 15].

Червоноармійський землетрус 9 липня 1857 року ($M = 3.3$) відчувався в Одеській області з інтенсивністю до 5 балів [14] - «місцевий короткий поштовх супроводився підземним гулом» [15].

В північно-західній частині Чорного моря і в районі о. Зміїного устанавлено наявність порушень берегової лінії [13], зміщення по яких можуть викликати значні землетруси. Так, сильний землетрус 1865 р. ($M = 6.4$), можливо, пов'язаний з цими тектонічними порушеннями.

В роботі [13] наведено опис землетрусу 21 квітня 1865 року, який не увійшов в основний каталог [18]. Землетрусом охопило територію Молдавії і Добруджі. В Одеській області з найбільшою інтенсивністю землетрус проявився в м. Білгород-Дністровський - 6 балів, де була пошкоджена казарма, а також в містах Бещерах та Ізмаїлі інтенсивністю до 5 балів, 4 бали спостерігалися в Яссах і 3 бали - в Одесі. У Румунії землетрус, крім Ясс, було відзначено тільки в Бухаресті.

Останній з відчутних землетрусів з вогнищем в Чорному морі стався 7 травня 2008 року і проявився в Одесі з інтенсивністю 3 бали, а в прибережній смузі півдня Одеської області - з інтенсивністю 4 бали.

Хоча відомих даних для точних розрахунків параметрів землетрусів по ближній зоні Одеси - недостатньо, можна говорити про існуючу на сучасному етапі геологічного розвитку сейсмічну небезпеку, як від місцевих землетрусів крайової частини Східноєвропейської платформи, так і від Чорноморських, пов'язаних з основними тектонічними структурами Добруджі і шельфової частини Чорного моря [10].

1.2 Аналіз наслідків катастрофічних землетрусів

1.2.1 Пошкодження причальних гідротехнічних споруд під час значних землетрусів

Порти є стратегічно важливими елементами національної і міжнародної торгівлі. На нинішній час значна частина причалів морських портів України практично вичерпала нормативний термін служби. При цьому, розвиток нових видів перевезень та поява нових типів суден виявили одну з головних

причин морального старіння причальних споруд - для прийому суден нових типів портам необхідно забезпечити глибини морського дна біля причалів від 11,5 до 20 м.

Перераховані обставини зумовили необхідність модернізації експлуатованих споруд. Більше того, подальше нарощування вантажообігу портів нині неможливе без реконструкції (посилення) певної частини причального фронту або будівництва нового, що у свою чергу накладає підвищені вимоги до забезпечення надійності конструкцій. Відповідно до [2] 7-м з 13-ти Морських портів України знаходяться в сейсмічно небезпечних районах з прогнозованою інтенсивністю понад 7 балів. Сейсмічні впливи можуть спричинити руйнування портових гідротехнічних споруд і порушення стабільного функціонування портів. Оцінка сейсмічних впливів та забезпечення безвідмовної роботи причальних споруд, є важливим і актуальним завданням.

Види пошкоджень причальних гідротехнічних споруд під час значних землетрусів, проблеми, що виникали та шляхи їх усунення.

16 липня 1990 року землетрус з магнітудою $M = 7,8$ в провінції Лузона на Філіппінах пошкодив причал № 1 в порту Сан-Фернандо. Пірс на залізобетонних палях квадратного перетину, довжиною 200 м і шириною 19 м, мав бетонну палубу. Використовувалися спарені вертикальні та похилі палі (рис. 1.3).

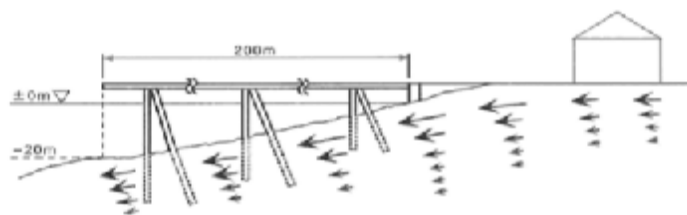


Рисунок 1.3 Порт Сан-Фернандо, Філіппіни

Причал у вигляді пірсу зазнав руйнування і повздовжніх переміщень в бік моря [19, 20] внаслідок зрушень та деформацій несучого ґрунту. Багато розривів в бетонному пірсі виникло у поздовжньому напрямку. Найбільший розрив сягав 1,5 м. Спостерігалися також руйнування пальових оголовків.

Порт Ейлат, Ізраїль, землетрус 22 листопада 1995 року в Ізраїлі мав величину $M = 7.2$. Порт Ейлат був розташований на відстані 100 км від епіцентру цього землетрусу. Головний причал мав загальну висоту 13 м і глибину води 10,5 м (рис. 2). Цей причал відкритого типу складається з збірних плит та ростверку на восьмикутних попередньо-напружених залізобетонних палях діаметром 46 см. Після землетрусу палі не було пошкоджено, але численні переміщення плит в діапазоні від 5 до 15 мм призвели до розкриття стиків [19,21].

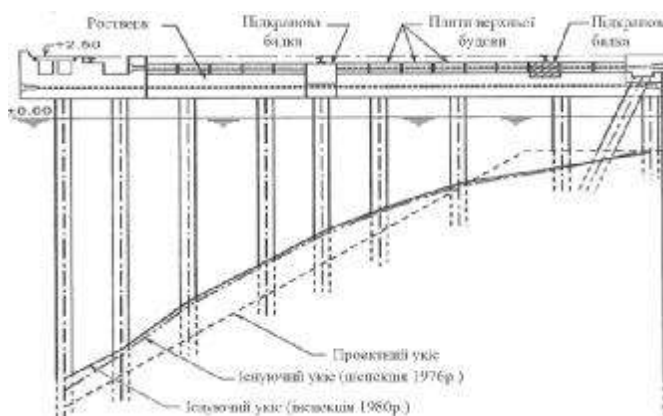


Рисунок 1.4. Порт Ейлат, Ізраїль

Порт Окленд, США, землетрус Лома Прієта 1989 року з магнітудою 6,9 в Каліфорнії заподіяв серйозної шкоди спорудам терміналу в порту Окленда [19, 22], що знаходився на відстані 90 км на північ від епіцентру землетрусу. Прискорення в порту Окленда було в межах 0.25 - 0.3g.

Найбільш серйозних пошкоджень було завдано Терміналу в районі 7-ї вулиці (рис. 1.5). Розрідження засипки призвело до просідань, бокового розширення і розтріскування покриття на великій площі.

Максимальне просідання контейнерних майданчиків склало близько одного фути. Було завдано істотної шкоди кільком великим кранам, які працювали на краях насипу і переміщалися рельсами вздовж причалів. Передні кранові рейки опиралися на пальові опори та залізобетонну балку і не зазнали суттєвого пошкодження. В той час як тилові кранові рейки, які опиралися на насип, були пошкоджені уздовж більшої частини терміналу, в результаті нерівномірної просадки насипу і пошкодження його бетонного покриття. В

результаті, було пошкоджено кілька основних кранів, які так і не вдалося відремонтувати після землетрусу.



Рисунок 1.5. Схема причального Терміналу 7-ї Вулиці, Порту Окленду, з ґрунтовою основою і системою палів.

Бокові переміщення, що виникли в результаті розрідження насипу, і глини під дамбою викликали пошкодження в верхній частині декількох палів, що підтримували причал. Пошкодження палів виникли у верхній частині тилкових похилих палів і, головним чином, являли собою руйнування при розтягу. У деяких палів були пошкодження від зсуву і стиску. Крайні вертикальні палі в основному не постраждали. Пошкодження палів в порту Окленда стали класичними прикладами тих руйнувань, що можуть виникнути в результаті використання похилих палів для стримування поперечних зсувів у відносно слабких ґрунтах основи. Ці палі – "жорстке" включення в структурну систему, що призводить до великих концентрацій напружень під час сейсмічних впливів. Однак характер спостережених ушкоджень був, в основному, пов'язаний з руйнуванням при розтягуванні, в результаті зовнішнього тиску насипу, що свідчить про те, що розрідження і супутні цьому поперечні деформації були вирішальними факторами руйнувань.

Конструктивні рішення набережних та пірсів естакадного типу.

До причальних споруд естакадного типу слід відносити конструкції набережних і пірсів, що спираються на палеві опори.

Конструкції естакадного типу слід підрозділяти [23]:

- залежно від конструкції верхньої будови і розташування опор - на споруди естакадного і мостового типів;

- залежно від розташування на акваторії та сполучення з берегом - на-бережні-естакади, що перекривають підпричальний укіс по усій довжині споруди, та пірси, що включають вузькі рейдові причали;

- залежно від конструкції верхньої будови та опор - із збірною, збірно-монолітною і монолітною верхньою будовою, на призматичних палях, палях-оболонках, металевих трубах, оболонках великого діаметру і на опорах з кладки масивів.

Спираючись на аналіз руйнувань причальних споруд естакадного типу під час землетрусів, можна виділити три основні причини руйнування причальних споруд естакадного типу під час землетрусу [24,25]:

- для причалів побудованих на міцних ґрунтах, з стабільним підпричальним укосом - це сприйняття палями сил інерції від верхньої будови, яке є основною причиною руйнування (рис. 1.6, а);

- максимальний згинаючий момент виникає в оголовках паль у тилівій зоні, оскільки вони мають найменшу вільну довжину. У разі виникнення значних зрушень засипки, або конструкцій що її стримують, можуть виникнути переміщення верхньої будови у бік моря, що, в свою чергу, призведе до руйнування, яке схематично зображено на Рис. 1.6, б;

- для причалів побудованих на не стабільному укосі, в наслідок його зрушення, виникають переміщення паль у бік морі, як показано на Рис. 1.6, в.

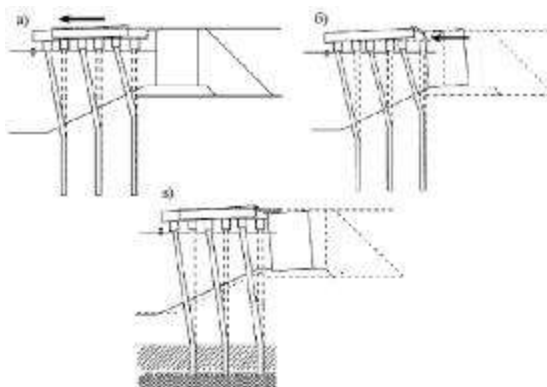


Рисунок 1.6. Можливі види руйнувань причальних споруд естакадного типу під час землетрусу. а) деформації при дії інерційних сил від верхньої будови; б) деформації у разі виникнення значних зрушень засипки; в) деформації при нестабільному укосі.

1.2.2 Аналіз сильних землетрусів.

Найбільш інтенсивні землетруси, які призвели до пошкоджень і руйнувань конструкцій будівель на території України, відбулися в Кримсько-Чорноморському регіоні (1927 г.) [26,27] і в зоні Вранча в Румунії (1977 р, 1986 р і 1990 м) [28-30]. Пошкодження багатоповерхових безкаркасних монолітних залізобетонних будівель в м Кишинів (Молдова) докладно описані [31]. Багатокаркасні залізобетонні будівлі були зруйновані під час катастрофічних землетрусів в Туреччині в 1999 г. [32].

Руйнівний Кримський землетрус 1927 р. призвів до пошкодження будівель різного ступеня. Інтенсивність землетрусу оцінювалася від 6 до 8 балів за сейсмічною шкалою MSK-64. Причинами типових руйнувань будівель були [28, 33-36]:

- погані зв'язку між стінами різних напрямків, що призводять до випадання зовнішніх стін;
- руйнування виступаючих частин будівлі;
- нерівномірність конструктивних рішень будівель в плані і нерівномірний розподіл жорсткостей і мас, як в плані так і по висоті.

Зазначені пошкодження є прикладами наслідків значних порушень принципів сейсмостійкого будівництва [38,39].

За результатами обстежень монолітних будівель в місті Бухарест після землетрусу 1977 р. [39] зроблено висновок, що при розташуванні стін будівель в плані досить часто і при їх доведенні до фундаменту, пошкодження обмежувалися невеликими тріщинами в перемичках і по робочих швах стін.

У той же час, в Кишиневі будівлі з зовнішніми стінами, які не доходили до фундаментів, отримали в 1977 р. пошкодження в місцях «підрізування» стін [31]. При наступному сильному землетрусі 1986 р. наявні в стінах монолітних будівель пошкодження призвели до аварійного стану багатьох багатоповерхових житлових будинків. Причому 80% монолітних будівель, зведених

у ковзній опалубці, мали ушкодження 3-4 ступеня за шкалою MSK-64, що підтверджує їх несейсмостійкість.

За результатами обстежень понад 100 монолітних житлових будинків висотою 8-24 поверхи в Кишиневі після землетрусу 1986 року і аналізу статистичних даних в [31, 40] зроблено висновок, що найбільш характерними пошкодженнями стін і простінків були поодинокі, розгалужені і похилі діагональні тріщини. При цьому інтенсивність землетрусу 1986 р. на будівельних майданчиках в м Кишиневі становила 7 і 8 балів на різних категоріях ґрунтів за сейсмічними властивостями.

Наступний сильний землетрус 1990 р. погіршив стан конструкцій і стін будівель, які отримали пошкодження при попередніх землетрусах. Деякі будівлі перейшли в розряд аварійних, тобто повторні землетруси призвели до збільшення ступеня пошкодження будівель. У той же час зниження жорсткості конструкцій призводило до зміни періодів і форм коливань будівлі, в результаті чого амплітуди його коливань під час землетрусу можуть зменшуватися або збільшуватися, в залежності від спектру сейсмічних впливів на конкретному майданчику.

Ускладнюють руйнування будівель отримані пошкодження конструкцій при попередніх землетрусах. Наприклад, після Кримського землетрусу 26 червня 1927 р. виникли пошкодження несучих конструкцій багатьох будівель, а при землетрусі 11-12 вересня 1927 року і наступних афтершоків були зареєстровані їх додаткові руйнування [28].

Землетруси зони Вранча (Карпатські гори). Карпатські землетруси визначають сейсмічну небезпеку насамперед західних регіонів України (Буковина, Закарпаття, Карпати, Передкарпаття і дельта р. Дунай). В основному землетруси пов'язані з сейсмоактивною зоною під горами Вранча [41,42]. Землетруси цієї зони були причиною пошкоджень і руйнувань будівель і споруд на території України і Молдови.

При землетрусі у Вірменії в 1988 р. були повністю зруйновані каркасні будівлі серії 111 (рис. 1.8).

У той же час крупнопанельні житлові будинки отримали незначні пошкодження [43]. Даний факт і аналіз наслідків Бухарестського землетрусу 1977 р. [39] підтверджують сейсмостійкість крупнопанельних будинків при інтенсивних сейсмічних впливах (8 і 9 балів).



Рис. 0.8. Руйнування залізобетонного каркасного будинку серії 111 (пошкодження 5-го ступеня) і стан крупнопанельного житлового будинку

Каркасні будинки серії 111 мали початкові періоди власних коливань по основному тону в діапазоні 0,55-0,60 с [32]. Ці періоди збільшувалися по мірі накопичення пошкоджень при багатоциклових коливаннях будівель. Серед будівель з періодами 0,6 с і вище зруйнованих будівель було понад 90%, з числа 4-5 поверхових будинків (періоди 0,3 с) - 60%, з числа 1-2 поверхових будинків (періоди 0,1-0,15 с) - 30%.

Одними з головних причин руйнування будівель серії 111 при Спітакському землетрусі є: перевищення спостереженою сейсмічністю майданчиків будівництва нормативної на 1-2 бали, довгоперіодні складові коливань ґрунту, погана якість будівництва тощо. [43-47].

При Спітакському землетрусі коливання будівель були порівняно тривалими (до 1 хвилини), що стало додатковим фактором багатоциклічного руйнування каркасних будинків.

1.3 Розвиток методів розрахунку будівель і споруд на сейсмічні впливи

Історія людства зберігає пам'ять про цілу низку сейсмічних катастроф, що призвели до чисельних жертв і величезних матеріальних збитків. Сейсмічні спостереження в своїй простій формі ведуться вже з давніх часів. Примітивні антисейсмічні заходи, характерні для раннього періоду сейсмостійкого будівництва, ґрунтувалися на досвіді спостережених землетрусів. Подальший процес в цій області тісно пов'язаний з вивченням наслідків руйнівних землетрусів, які служили основним джерелом цього досвіду, стимулювали жвавий інтерес до питань сейсмостійкості споруд.

У розвитку сейсмостійкого будівництва можна виділити три періоди.

Перший - попередній, характеризується накопиченням емпіричних знань про землетруси і наслідки землетрусів. Цей етап почався в найдавніші часи і тривав до кінця XIX століття.

На першому етапі збиралися окремі дані про землетруси і робилися деякі спроби протистояти їх руйнівним наслідкам. Про це свідчать багато фактів. Так, наприклад, відомо, що перші інструментальні спостереження сейсмічного ефекту за допомогою сейсмокопів відносяться ще до початку нашої ери (китайський сейсмокоп Чжан-Хена) [48]. Іншим прикладом того, що перші антисейсмічні заходи вживалися кілька століть тому, може служити мавзолей султана Санджара в Мерві, побудований в XII столітті. Його кам'яний фундамент який звужується донизу знаходиться в котловані заповненому пластичною глиною. В даний час відомо, що подібні конструктивні рішення ведуть до зменшення періоду коливань будівлі і величини сейсмічних навантажень [49].

У 1627 р. італійцем Поарді було запропоновано розділити сейсмічні впливи на класи по їх інтенсивності. Всього ним було виділено 4 класи землетрусів [48].

У період з кінця XVIII до початку XIX ст. роботи фахівців були, в основному, присвячені уточненню класифікації землетрусів. Роботи вчених, що

призвели до створення шкал балльності, які поділяють землетрусу на слабкі і сильні за їх впливом на споруди, започаткували формування основ теорії сейсмостійкості [48].

Другий період - зародження і становлення теорії сейсмостійкості споруд, як наукової дисципліни. Часовий проміжок - від кінця XIX століття до 50-х років XX століття [48].

Розвиток досліджень в галузі теорії сейсмостійкості проводився за трьома основними напрямками:

- отримання інструментальних даних і кількісних характеристик, які характеризують землетруси (таких як: переміщення, швидкості і прискорення поверхні Землі), без яких неможливе сейсмостійке проектування будівель і споруд;

- створення системи рекомендацій і правил щодо будівництва в сейсмічних районах, основою для якої був досвід минулих землетрусів;

- створення перших методів розрахунку будівель і споруд.

Стало зрозуміло, що основи споруд не можна приймати в розрахунках абсолютно жорсткими. Важлива роль взаємодії під час землетрусу споруди з ґрунтом була встановлена за допомогою комплексу проведених спостережень. В результаті вивчення наслідків Токійського землетрусу були доповнені і уточнені рекомендації з сейсмостійкого будівництва. Нові рекомендації відносилися як до дерев'яних і кам'яних будівель, так і до споруд з металу і залізобетону.

Третій період - сучасний, початок - 60-их років XX століття.

З 1960-х рр. теорія сейсмостійкості будівель і споруд почала інтенсивно розвиватися у багатьох напрямках [7,26, 45,50, 58]. З цього часу починається новий етап розвитку сейсмостійкого будівництва. У 60-і роки. відбувся цілий ряд руйнівних землетрусів по всьому світу: в Марокко, Чилі, Ірані, Югославії, Японії (Ніігата), Алясці, Узбекистані (Ташкент). Тоді ж в сейсмічно небезпечних районах почалося активне зведення будівель і споруд за допомогою нових методів розрахунку і будівництва, з використанням прогресу

сивних конструктивних рішень. За допомогою ЕОМ стало можливим виконання трудомістких розрахунків різних систем із використанням записаних акселерограм землетрусів [35]. Розвиток прикладних математичних дисциплін, і особливо математичної статистики, дозволив вирішувати завдання сейсмостійкого будівництва у статистичній постановці [1, 17, 27, 29, 82].

Можна класифікувати чотири етапи розвитку методів розрахунку будівель і споруд на сейсмічні впливи:

- статична теорія сейсмостійкості;
- динамічна теорія сейсмостійкості;
- спектральна теорія сейсмостійкості;
- чисельний розв'язок задач прямим динамічним методом.

1.3.1. Статична теорія сейсмостійкості

Початком зародження теорії сейсмостійкості споруд як наукової дисципліни слід вважати період кінця XIX і початку XX століття, який наступив після руйнівного японського землетрусу в 1891 році (Ф. Оморі) [48]. При обстеженні наслідків цієї найбільшої, в той час, катастрофи японськими вченими був проведений аналіз зміщення і перекидання пам'ятників, і масивів ґрунту, на основі цього були отримані перші наближені дані про максимальні сейсмічні прискорення ґрунтів, що дозволили поставити задачу кількісного дослідження сейсмічного ефекту. З метою аналізу сейсмічних сил в спорудах японський вчений Оморі в 1900 році провів спеціальні дослідження з цегляними стовпчиками. На основі результатів цих дослідів Ф.Оморі і Сано була розроблена методика визначення сейсмічних сил, що отримала назву статичної теорії сейсмостійкості.

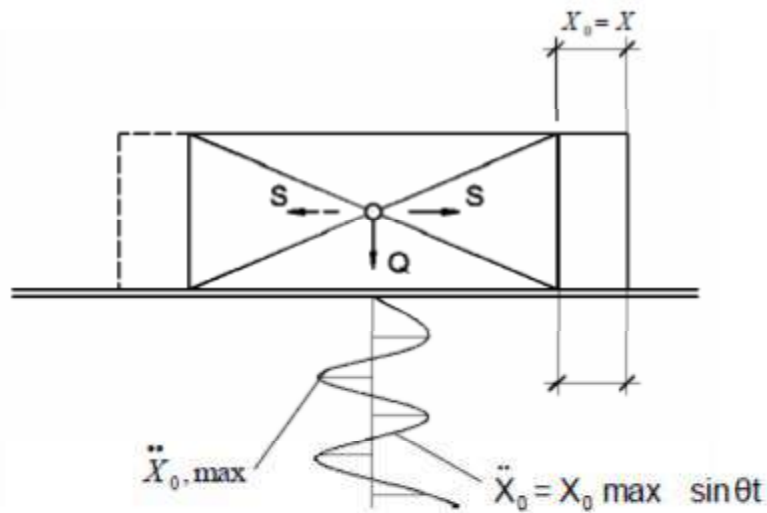


Рисунок 1.9 – Модель Ф. Оморі

Коливання ґрунту під час землетрусу носять хаотичний ("дикий") характер і не укладаються в чіткі форми математичної закономірності. Створення обґрунтованої теорії сейсмостійкості ускладнювалося малою тривалістю землетрусів (секунди) і їх рідкою повторюваністю. У зв'язку з цим, в першій теорії сейсмостійкості, названій статичною використовувалася найпростіша модель будівлі (споруди) в вигляді абсолютно жорсткого тіла (рис. 1.9) [48]. Крім цього вважалося, що будівлі не мають обертальних переміщень. Тому прискорення всіх мас споруди рівні прискоренням в його основі. Останні відповідали прискоренням земної поверхні.

1.3.2 Динамічна теорія сейсмостійкості

Отримані нові дані з одного боку спростували статичну теорію сейсмостійкості, в якій не враховувалися пружні властивості споруди і її взаємодія з основою, а також був невірно визначений коефіцієнт сейсмічності. Але з іншого боку, збереження в період землетрусів будівель і споруд, запроектованих за статичною теорією, свідчила про можливість подальшого її використання. Таким чином для усунення зазначених протиріч була потрібна доробка статичної теорії і уточнення її вихідних положень.

З цього часу почалася розробка основ динамічної теорії розрахунку споруд на сейсмічні навантаження. Нова теорія намагалася врахувати пружні властивості споруд.

У 1920 р. вчений Мононобе (Японія) зайнявся дослідженням установлених гармонійних коливань одномасового осцилятора, викликані зміщенням основи. В результаті він отримав формулу для розрахунку сейсмічної сили, яка враховувала динамічні властивості споруди [48].

Розрахунки за цією формулою в більшості випадків давали той же результат, що і розрахунки по статичній теорії. Однак незабаром було виявлено, що формула для коефіцієнта динамічності була виведена без урахування вільних коливань системи, що робило її недостовірною. Це упущення було виправлено вченими Заврієвим і Дануссо [48]. К.С. Заврієв також показав необхідність врахування початкової фази сейсмічного впливу, що приводить до збільшення коефіцієнта динамічності в 2 рази.

Завдяки дослідженням названих вище вчених відбулося становлення динамічної теорії сейсмостійкого будівництва. Але в зв'язку з обмеженістю інформації про землетруси і відсутністю емпіричних матеріалів нова теорія не використовувалася в практичних розрахунках.

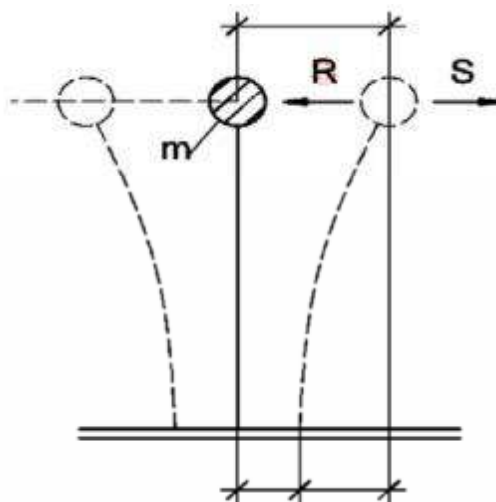


Рисунок 1.10 – Розрахункова модель Н. Мононобе і К.С. Заврієва

Аргументи проти динамічної теорії наводилися наступні:

- динамічна теорія виходить з того, що сейсмічне збурення - гармонійне, вона не враховує взаємодію споруди і основи, а також їх пластичних властивостей;

- динамічна теорія дуже складна і не завершена, тоді як статична теорія широко використовується в світовій практиці;

- динамічна теорія уточнює розрахункові прискорення сейсмічних коливань шляхом множення на динамічний коефіцієнт, що не несе ніякого фізичного сенсу, з огляду на те, що самі розрахункові прискорення є умовними.

У період з 1930 р. по 1950 р. було запроектовано велику кількість споруд та будівель, розрахованих по статичній теорії. Однак, як зазначив І.Л. Корчинський, розрахунок, в основному, мав формальний характер і практично не впливав на розміри елементів несучих конструкцій. Фактично проектування велося за рекомендаціями не пов'язаними з розрахунками [52, 53].

Однак, через обмежену інформацію про характер майбутніх землетрусів, зазначені вище дослідження не знайшли застосування в практичних розрахунках.

1.3.3 Спектральна теорія сейсмостійкості

На різних етапах у створенні лінійно-спектральної теорії взяли участь вчені з різних країн світу. Слід зазначити роботи Дж.Л. Альфорд J.L. Alford) [54], Г.Дж. Ал-Сулаймані (G.J. Al-Sulaimani) [55], Х. Беньоффа (H. Benioff) [56], Дж.А. Блюма (J.A. Blume) [57], Р.В. Клаф і Дж. Пензіен (R. W. Clough and J. Penzien) [58], Б. Мохраза (Mohraz B) [59], Н.М. Ньюмарка і Дж. Ф. Халл (N.M. Newmark and J.F. Hall) [60] та інших.

На створення і розвиток різних аспектів теорії сейсмостійкості споруд за останні століття працювали багато вітчизняних та зарубіжних вчених в галузі будівництва, механіки та інженерної сейсмології. У їх числі Я.М. Айзенберг [61, 62], А.А. Амосов і С.Б. Синіцин [63], В.І. Старостенко, Кендзера О.В., Семенова Ю.В. [64], А.Н. Бірбраєв [65] В.А. Амбарцумян, В.В. Болотін [66], І.І. Гольденблат, О.С. Городецьким, Н.А. Ніколаєнко, і С.В. Поляков

[67], Ю.І. Немчинов, М.Г. Мар'єнков, К.Н. Бабік [68, 69], С.В. Медведєв [70], С.С. Дарбинян, А.М. Уздін [71], В.К. Єгупов, [72], Жунусов, Г.Н. Карцівадзе, І.Л. Корчинський [53], М.А. Марджанішвілі, Ш.Г. Напетварідзе [74], А.Г. Назаров [75], Ю.П. Назаров, В.А. Ржевський [76], Е.Е. Хачіян [77], Дж. Блюм [57], Е. Чопра [78], Н. Ньюмарк [60] та інші.

У 1933 р. вперше вченим М. Біо була запропонована теорія визначення сейсмічних сил, названа спектральною [79]. Сутність нової теорії полягала в розкладанні руху системи за формами коливань; для кожної з яких визначаються максимальні значення розрахункових величин: сейсмічних зусиль і сил інерції. Сейсмічні сили при цьому визначаються за графіком залежності максимальних прискорень системи від періоду її власних коливань, тобто по так званій спектральній кривій (за спектральними прискореннями). Далі визначаються сейсмічні навантаження з розрахунку на статичну дію на конструкцію знайдених сейсмічних сил. Сейсмічні сили і навантаження визначають для кожної форми руху системи і використовують їх для оцінки несучої здатності конструкції.

Відповідно, за спектральною теорією при визначенні сейсмічного навантаження враховується коефіцієнт динамічності, що характеризує спектральній склад сейсмічного впливу.

Для побудови розрахункових спектральних кривих необхідні були записи акселерограм землетрусів, що в свою чергу потребувало створення і використання спеціальних приладів і пристроїв. Прилади для запису сильних землетрусів почали застосовуватися в США з 1933 р. З 1941 р. побудова спектральних кривих по записаних акселерограмах землетрусів проводилася за допомогою спеціально сконструйованого механічного інтегратора [51]. Починаючи з 1951 р. сейсмологічна мережа Японії також оснащується приладами, що записують сильні землетруси. У 1952 р. були виготовлені мультимаятнікові сейсмометри, за допомогою яких по методу, запропонованого А.Г. Назаровим, здійснювалася побудова спіктрів прискорень лінійних осциляторів.

В той же час в ряді країн [48] були проведені випробування споруд, як натурні, так і модельні, які підтвердили залежність сейсмічного навантаження від динамічних властивостей конструкції.

До 50-их років була зібрана нова статистична інформація про рух ґрунту при землетрусах, була також встановлена залежність прискорення маятника, під впливом землетрусу, від власного періоду коливань цього маятника: максимальне прискорення маятника зменшується з ростом періоду його власних коливань.

Важливу роль на розвиток теорії сейсмостійкого будівництва відіграла робота І.Л. Корчинського [53], в якій наведено теоретичне обґрунтування використання спектрального методу та запропоновано зручні розрахункові формули.

Підсумковуючи сказане можна зробити висновки, що завдяки проведеним теоретичним і експериментальним дослідженням була розроблена практична, зручна при проектуванні методика розрахунку будівель і споруд на сейсмічні навантаження.

Таким чином, спектральний метод зробив крок вперед в теорії сейсмостійкості, у порівнянні з динамічною теорією в її початковому вигляді. Цей метод використовує реальні коливання, фактично зареєстровані при землетрусах, а не з гармонійних коливань ґрунту, як це використовує динамічна теорія. Спектральний метод базується на більшому, ніж статична теорія, практичному досвіді вивчення поведінки ґрунтів і споруд при землетрусах. Розрахунки за спектральною методикою зручні для проектувальника і при наявності ЕОМ виконуються досить швидко. Результати розрахунків, отриманих за спектральним методом, в більшості випадків відповідають рекомендаціям нормативних правил, завдяки чому було ліквідовано розрив між теоритичними розрахунками і конструктивними рекомендаціями. Наприклад, втратило чинність помилкове правило необхідності збільшення жорсткості конструкції для всіх випадків.

Однак нова методика не вирішила основні питання розрахунку споруд, пов'язаних із завданням сейсмічного впливу. В спектральному методі було збережено коефіцієнт сейсмічності K_s , хоча його призначення залишається незрозумілим. Розрахункові прискорення виявилися в 3-5 разів меншими, ніж зафіксовані при реальних землетрусах. И.Л. Корчинський відмічав з цього приводу: «... коефіцієнт сейсмічності - найменш обгрунтований параметр в розрахунковій формулі, прийнятій в СН-8-57 [73]. Неясно, що представляє собою розрахункове прискорення K_s . Чи є це прискорення найбільшим при землетрусі з певною забезпеченністю, або характеризує якесь середнє прискорення, необхідне для інженерних розрахунків» [80].

Незважаючи на названі недоліки, використання спектральної методики виправдало себе на практиці, так як запроектовані по ній будівлі та споруди, як правило, задовільно переносили розрахункові сейсмічні навантаження і не вимагали великих витрат на антисейсмічні заходи.

Згодом за допомогою приладів було виявлено мультичастотний склад сейсмічних рухів ґрунту. У зв'язку з цим намітився принципово новий підхід, до розрахунку спектральним методом або методом розрахунку по спектральних кривих.

Спектральний метод вперше був використаний в нормах США. В них нормується величина суми усіх сейсмічних сил (включаючи поперечну силу в основі) рис 1.11 [79].

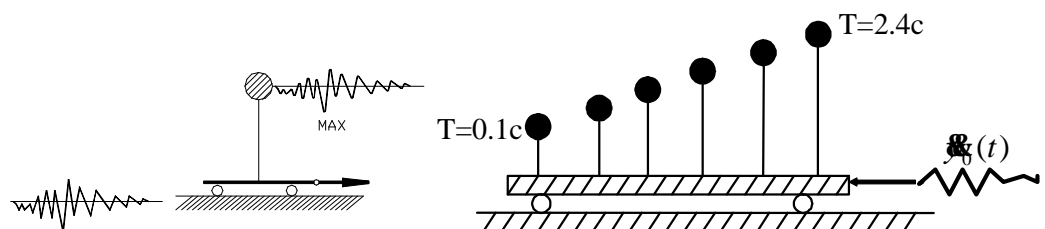


Рис. 1.11 Динамічні моделі М.Био

1.3.3.1 Впровадження в розрахункову практику просторових моделей будівель і сейсмічних впливів.

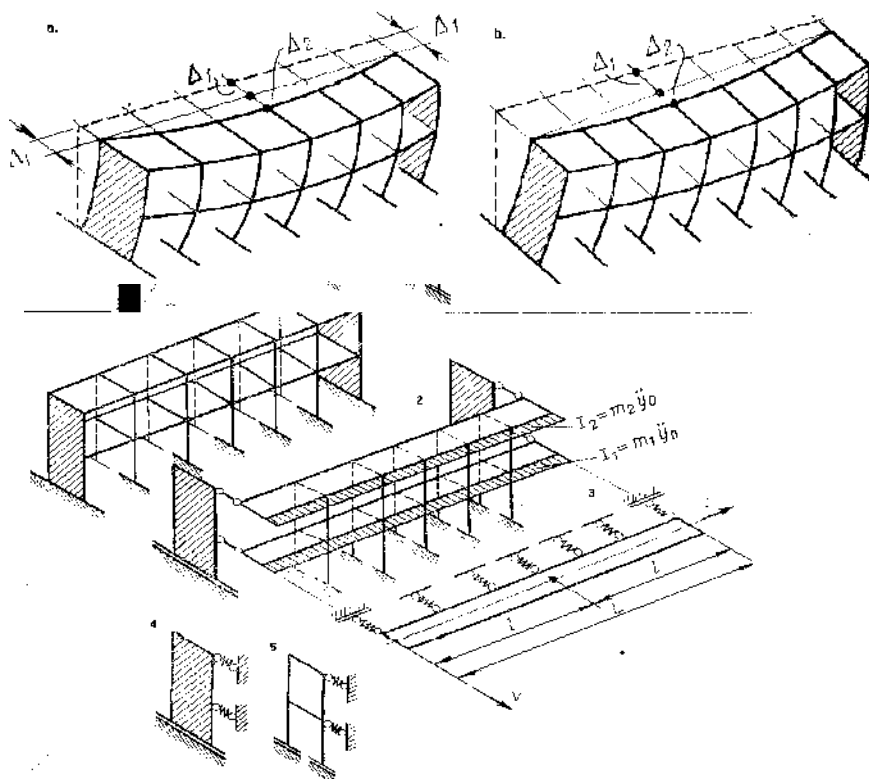


Рис. 1.12 Моделі будівлі і її елементів.

Як показали експерименти, при горизонтальних коливаннях довгих будівель в їх поперечному напрямку, перекриття (особливо збірні) помітно деформуються в своїй площині так, що величина Δ_1 стає порівняною з Δ_2 , показаними на рис. 1.12а. Зазвичай застосовуване в розрахунках допущення про абсолютну жорсткість перекриттів у своїй площині ($\Delta_2 = 0$) може привести до суттєвих похибок, зокрема до неточності розподілу зусиль між вертикальними елементами.

Найпростіша тривимірна розрахункова схема (модель) представлена на рис. 1.12б. Маса будівлі дискретно зосереджені по висоті (в рівнях перекриттів) і рівномірно розподілені по довжині. Цю модель будемо називати дискретно-континуальною. Вплив інерційних сил на симетричну або несиметричну в плані систему при одночасному поступальному зміщенні основи

всіх її опор $y_0(t)$ може бути представлено силами, прикладеними в рівнях перекриттів $J_1 = -m_1 \ddot{y}_0(t)$, $J_2 = -m_2 \ddot{y}_0(t)$, як показано на рис. 1.12

При розрахунку деформацій перекриттів у своїй площині сейсмічні навантаження виходять в 2-3 рази меншими, ніж при визначенні за плоскою (консольною) схемою, і є можливість визначити оптимальну довжину будівлі, якій відповідає мінімальне сейсмічне навантаження.

Зазначені вище дослідження були проведені В. К. Егуповим і його співробітниками ще в 1965 році [81].

1.3.4 Чисельний розв'язок задач прямим динамічним методом

З бурхливим розвитком інформаційних технологій, ЕОМ і чисельних методів вирішення задач будівельної механіки [78] виникла можливість аналізувати і моделювати складні зміни в часі процеси, що відбуваються у будівлі або споруді протягом циклу зведення, експлуатації та / або реконструкції. При цьому існує практично необмежена можливість моделювання цих процесів. Одним з аналізів в КЕ-моделюванні є порівняно новий прямий динамічний аналіз (розрахунок), в якому використовується пряме інтегрування рівнянь руху без будь-яких перетворень рівнянь. Матричне рівняння руху просторової системи для переміщень має вигляд

$$M\ddot{\bar{x}} + C\dot{\bar{x}} + K\bar{x} = -M\ddot{\bar{d}}, \quad (1.1):$$

Приклад застосування цього способу для розрахунку системи з двома ступенями свободи наведено в підручнику [83].

Для чисельного інтегрування рівнянь руху можуть бути використані і інші прямі методи, зокрема, метод Ньюмарка, який отримав широке застосування в динамічних розрахунках [83].

Поряд з описаними вище підходами до розрахунку споруд на вплив акселерограм, може бути використаний і більш загальний підхід, заснований на застосуванні МСЕ до завдань розрахунку споруд на динамічні впливи [84].

1.3.5. Сучасні напрямки досліджень в теорії сейсмостійкості споруд

Статистичні (ймовірні) методи в теорії сейсмостійкості споруд. Перші спроби застосування методів теорії ймовірностей і математичної статистики відносяться до 50-х років минулого століття. Надалі цей напрям був широко розвинутий в працях Голь-Денблата І.І., Болотіна В.В., Барштейна М.Ф., Корчинського І.Л., Биховського В.А., Ніколаєнко НА, Айзенберга Я . М., Розенблата Е., Рассказовского В.Т., та у багатьох інших вітчизняних і зарубіжних дослідників.

В даний час відомо, що сейсмічні впливи мають вигляд нестационарного випадкового процесу. Цей підхід найбільш повно розроблено в працях В.В.Болотіна і його школи, де була запропонована статистична теорія сейсмостійкості, використана для ймовірнісної оцінки реакції пружної споруди на сейсмічні впливи і оцінки довговічності споруди.

Разом з тим широке застосування отримали також інші підходи, зокрема підходи засновані на кореляційній теорії випадкових процесів, яка передбачає стаціонарність і ергодичність випадкових процесів сейсмічних впливів.

Детальний опис застосування методів теорії випадкових процесів до завдань забезпечення сейсмостійкості споруд вимагає окремого викладу і міститься в спеціальній літературі.

Взаємодія споруди з ґрунтом основи. Останнім часом значна увага приділяється проблемі взаємодії споруди з ґрунтом основи. У найбільш загальній постановці ця проблема може бути сформульована у вигляді динамічної контактної задачі поєднання основи і споруди.

Початкові, досить грубі розрахунки в моделях показали, що врахування податливості основи суттєво впливає на характер напружено-деформованого стану споруди [85].

Інший напрямок, більш близький до інженерних методів, був пов'язаний з введенням деяких параметрів жорсткості основи, які визначаються на

основі чисто експериментальних досліджень, або на основі теоретично-експериментальних підходів, що враховують хвильовий характер сейсмічного впливу. Мабуть, сюди ж слід віднести проблему розрахунку на сейсмічні впливи протяжних в плані споруд, коли їх довжина є співрозмірною з довжиною половини сейсмічної хвилі, падаючої на основу споруди [86].

Врахування фізичної нелінійності. Проблема врахування фізичної нелінійності є актуальною. Ця проблема набуває досить чіткі обриси, і може бути сформульована у вигляді задачі врахування властивостей матеріалу конструкції споруди, що визначається нелінійною діаграмою залежності напружень від деформацій.

В основному, ця проблема є найактуальнішою для споруд, несущі конструкції яких виконано в залізобетоні. Як відомо, в цьому випадку апроксимація істинної діаграми деформування лінійною представляється дуже проблематичною, особливо, коли зовнішні впливи є високоінтенсивними, що на території України є характерним для сильних землетрусів із зони Вранча.

Врахування просторового характеру деформації споруд і багатокомпонентних сейсмічних впливів. У сучасній теорії сейсмостійкості споруд, що розвивається в працях багатьох дослідників, результати яких ще не увійшли в існуючі нормативні документи, досить очевидним є та обставина, що використовувана, в даний час, нормативна розрахункова схема споруди далеко не повністю відображає справжню картину роботи споруди при сейсмічних впливах.

Нормативна одномірна розрахункова схема у вигляді консольного стержня не в змозі описати, за рідким винятком, реальний характер напружено-деформованого стану конструкції, розрахункова схема якої є просторовою. Цей факт є досить очевидним, однак реалізація даного підходу стала можливою тільки при сучасному розвитку обчислювальної техніки. Окремі результати, відомі в даний час, свідчать, що врахування просторового характеру деформації (роботи) споруди може привести до суттєвого коригування результатів, отриманих з використанням нормативного підходу. Крім того,

слід врахувати, що використання просторової розрахункової схеми повністю відповідає сучасним уявленням про сейсмічні впливи у вигляді багатокomпонентних процесів, які характеризуються головним вектором і головним моментом цих впливів [87].

1.3.6 Розвиток нормативних моделей сейсмічних впливів

Землетруси за своїми руйнівними наслідками, кількістю жертв і деструктивному впливу на середовище проживання людини займають одне з перших місць серед інших природних катастроф. Запобігти землетрусу неможливо, однак їх руйнівні наслідки і кількість людських жертв можуть бути зменшені шляхом створення достовірних карт сейсмічного районування, використання сучасних методів побудови розрахункових акселерограм для моделювання прогнозованих сейсмічних впливів на конкретних будівельних майданчиках, застосування адекватних норм сейсмостійкого будівництва і проведення в сейсмоактивних районах довгострокової політики, заснованої на підвищенні рівня обізнаності населення та федеральних органів про загрозу землетрусів і умінні протистояти підземної стихії.

Не можна припускати, щоб будівлі та споруди після восьми, а тим більше дев'ятибального землетрусу не отримали ушкоджень. Сильний землетрус - явище відносно рідкісне, і вимога повного збереження всіх будівель і споруд при такому впливі була б економічно невиправданою, не кажучи про те, що при вирішенні цього завдання в багатьох випадках можна зустрітися з майже непереборними технічними труднощами.

Разом з тим сейсмостійке будівництво повинно гарантувати безпеку життя людей та збереження великих матеріальних і культурних цінностей при найсильніших землетрусах. У багатьох випадках можна вирішити цю задачу, аж ніяк не вимагаючи повного збереження будівель або споруд. У них можуть з'являтися тріщини і місцеві пошкодження, що потребують потім капітального ремонту, але якщо життя людей і найбільш цінне обладнання збережені, можна вважати подібні будівлі та споруди сейсмостійкими [88].

Здатність конструктивних систем протистояти сейсмічним впливам за межами пружності, як правило, допускає їх проектування на опір сейсмічним зусиллям, меншим, ніж зусилля, які відповідають лінійній пружній реакції.

Щоб уникнути складного непружного аналізу конструкцій при проектуванні, здатність конструкції до розсіювання енергії завдяки переважно пружнопластичній поведінці її елементів та іншим механізмам, враховуються в діючих нормах проектування за допомогою виконання пружного аналізу з використанням розрахункового спектра реакції шляхом введення коефіцієнта редукції для пружного спектра реакції. Такий підхід є загальноприйнятим, але результати останніх досліджень в області сейсмостійкого будівництва свідчать про можливе виникнення дефіциту сейсмостійкості при проектуванні будинків і споруд з використанням такої методики.

Забезпечення надійності сейсмостійкого будівництва, безсумнівно, є надзвичайно складною інженерною задачею. Складність цього завдання визначається неповнотою інформації про зовнішній вплив і недостатньою вивченістю деформування споруд при інтенсивних динамічних навантаженнях. Ці проблеми мають своїм наслідком умовність і дискусійність багатьох загальноприйнятих положень в діючих нормах проектування і будівництва в сейсмічних районах, як в Україні, так і в інших країнах.

1.4. Сейсмостійкість будівель і споруд за діючими нормами

В даний час для інженера-проектувальника є багато практичних методів і підходів забезпечення сейсмостійкості. При цьому, згідно з вимогами технічної безпеки, інженер повинен керуватися діючими нормами, які є логічним продовженням статистичної теорії сейсмостійкості. В Україні документом, обов'язковим до застосування, є ДБН В.1.1: 12-2014 [2], в Європі - Єврокод 8 з проектування сейсмостійких конструкцій EN 1998 [90], в Китаї - норми GB 50011-2010 [91]. Паралельно до обов'язкових до застосування норм розробляються проекти стандартів і рекомендаційних документів, що доповнюють картину знань по інженерній методиці оцінки сейсмостійкості (на-

приклад, вітчизняний ДСТУ Б В.1.1-28: 2010. [92]). З введенням в дію ДБН В.1.1-12 [2] змінилися вимоги до проектування та будівництва будівель [93].

Основною характеристикою, що описує характер руху ґрунту і необхідна для обчислення сейсмічних сил - є прискорення основи. ДБН В.1.1:12-2014 встановлюють обов'язкові вимоги, яких потрібно дотримуватися при проектуванні, новому будівництві, реконструкції та експлуатації будівель і споруд різного призначення. Будівлі, які зводяться або розміщені на майданчиках з сейсмічністю 6 балів і вище за шкалою сейсмічної інтенсивності, з метою захисту від негативного впливу сейсмічних подій на безпеку людей і збереження матеріальних і культурних цінностей, відповідно до ДСТУ Б В.1.1-28:2010 року, повинні проектуватися і зводитись у сейсмостійкому виконанні.

1.4.1 Аналіз методів випробування споруд на динамічні впливи

На сьогоднішній день існує необхідність у визначенні фактичної сейсмостійкості як існуючих, так і проєктованих будівель і споруд [96]. Методи розрахунків основних конструкцій будівель, що розробляються, не завжди можуть дати досить об'єктивну і правильну відповідь на це питання. У таких випадках звертаються до експериментального аналізу сейсмостійкості конструкцій будівель і споруд, починаючи з випробувань з визначення характеристик матеріалу окремих конструктивних елементів, і закінчуючи натурними випробуваннями цілих будівель. Достовірніші результати, природно, приносять комплексне дослідження будівель, що включає динамічні і статичні випробування всієї будівлі, а також моделей окремих фрагментів і вузлів будівлі, елементів конструкції і фізико-механічні випробування матеріалів. Такі комплексні дослідження повинні поєднуватися з детальними чисельними дослідженнями, що виконуються на основі отриманих експериментальних даних. Лише такий метод дослідження може повністю і об'єктивно розкрити всі особливості реальної роботи конструкцій і послужити базою для оцінки фактичної сейсмостійкості.

Динамічні випробування є частиною досліджень, що проводяться на основі комплексної методики експериментального вивчення деформації конструкцій будівель.

Крім динамічних випробувань натурних об'єктів, проводять випробування моделей будівель в 1/3-1/5 натуральної величини, фрагментів і зразків конструктивних елементів споруд, а також дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, з яких виготовлено об'єкт випробувань [96].

Кінцевою метою випробувань і теоретичних досліджень для кожного з об'єктів є уточнення дійсної деформації конструкцій і формування на експериментальній основі розрахункової схеми будівлі або споруди, яка враховуватиме реальні динамічні характеристики конструкцій і матеріалу.

На сьогоднішній день застосовуються наступні методи експериментального визначення сейсмостійкості будівель і споруд:

- вібраційний метод.
- вибуховий метод.
- метод «скидання навантаження».
- ударний метод.
- випробування моделей будівлі.
- метод оцінки мікросейсмічних коливань.

Для проведення динамічних випробувань, крім джерел коливань, необхідно мати комплект реєструючої апаратури, яка з достатньою точністю і надійністю могла б зафіксувати випробувальні процеси. Зважаючи на те, що для всіх видів випробувань необхідні схожі (аналогічні) комплекти апаратури, в даній класифікації реєструюча апаратура розглядатися не буде.

1.5. Метод оцінки мікросейсмічних коливань.

З розвитком апаратурно-методичної бази, мікросейсмічні спостереження набувають все більшої ваги в геофізичних дослідженнях, причому переважно для практичних застосувань. Це пов'язано з їх дешевизною і технологічною простотою виконання, а також з можливістю вживання в практично

будь-яких ситуаціях (наприклад, для тіла гребель, обмежених умов майданчика). Все це робить мікросейсмічні спостереження пріоритетними для цілей рекогносцировки перед детальними дослідженнями і для довготривалого моніторингу [98].

В даний час поняття «мікросейсмічні спостереження» об'єднує цілий набір технологій, заснованих на аналізі хвиль різного генезису і типів (емісія, техногенні сигнали, поверхневі хвилі). Істотно, що зареєстроване хвильове поле може паралельно оброблятися різними способами, що спираються на різні складові мікросейсм, для здобуття принципово різної інформації про середовище. При цьому розглядають дві складові середньочастотних (0,5-10 Гц) мікросейсм: поверхневі хвилі Релея і техногенні монохроматичні коливання (піки в спектрі мікросейсм), що збуджуються в геологічному середовищі при роботі електричних машин. Приклади з практики ілюструють можливість використання різних методик, а також використання техногенних піків для структурних і геодинамічних досліджень.

З викладеного вище виходить, що використання мікросейсм для вирішення будівельних завдань відкриває великі можливості. Вивчення мікроколивань, які раніше відносилися до розряду перешкод, дає великий матеріал для аналізу. Це особливо важливо при дослідженні слабоактивних платформних територій. Головною перевагою - є можливість отримати за короткий час достатньо важливу і достовірну інформацію для аналізу [99].

Аналіз мікросейсмічних коливань можна проводити на будь-яких спорудах без їх пошкоджень. Оскільки коливання виникають без втручання дослідників цей метод можна визначити, як найпростіший і достовірний. Але процес розпізнавання хвиль і визначення їх природи є вельми трудомістким. Мікросейсмічні хвилі можуть надати досить достовірну інформацію про просторову поведінку споруди, а також про можливі наслідки при сильнішому землетрусі.

Описані вище методи випробувань будівель динамічними навантаженнями можна представити в наступній формі (табл.1.2).

Таблиця 1.2. Зведена таблиця для вибору методу випробувань

Методи випробувань	Клас наслідків будівель і споруди для яких рекомендується застосувати метод	Складність проведення випробування	Відповідність впливів реальному землетрусу	Місцевість в якій можна застосувати метод	Вплив на випробуваний об'єкт
Вібраційний	СС2-СС3	С3	СВ2	М2	2-4
Вибуховий	СС1-СС3	С2	СВ1-СВ2	М3	0-3
«Скидання навантаження»	СС1-СС3	С2	СВ1	М2	0-3
Ударний	СС1-СС3	С2	СВ1	М1	0-1
Випробування моделей будівлі	СС2-СС3	С2	СВ2	М3	2-5
Метод спостережень мікросейсмічних коливань	СС1-СС3	С1	СВ3	М1-М3	0-1

Клас наслідків будівель і споруд, для яких можна рекомендувати використання методу (відповідно до [97]):

СС3– для об'єктів (будівель і споруд) підвищеної небезпеки, визначених відповідно до законодавства;

СС2– для висотних житлових і суспільних будівель;

СС1– для житлових і суспільних будівель масового будівництва;

Складність проведення випробувань:

С1-випробування не вимагають збудження коливань, використовуються мікросейсмічні процеси природного або техногенного характеру;

С2-відтворення динамічного навантаження не вимагає особливих умов і дорогої спецтехніки;

СЗ-випробування проводяться в лабораторних або натурних умовах при допомозі спеціально розроблених механізмів;

Відповідність розрахункового впливу реальному землетрусу:

СВ1-частково відображає сейсмічні впливи

СВ2-вплив аналогічний реальному землетрусу

СВ3-власне реальний землетрус

Місцевість, у якій рекомендується застосувати метод:

М1- житлові райони міст, села, селища;

М2-промислові райони, полігони;

М3-лабораторні умови.

Вплив методу дослідження на випробовуваний об'єкт.

Критерієм оцінки впливу методу дослідження на об'єкт запропоновано вважати міру пошкодження об'єктів по шкалі ДСТУ Б В.1.1-28:2010 [92], таблиця 1.2.

Висновки до розділу 1

В Україні дослідження в області сейсмостійкості будівель і споруд на основі просторових моделей проводяться з початку 60-х років. До середини 70-х років розроблялися дискретно-континуальні моделі, а пізніше - дискретні.

Для дискретних просторових моделей будівель і споруд були розроблені моделі сейсмічних впливів, які враховують хвильові процеси в ґрунтах.

Огляд досліджень зарубіжних авторів показав, що моделі будівель є або надмірно спрощеними (консольна модель), або надмірно деталізованими (метод скінченних елементів). При врахуванні хвильових процесів використовують спрощені континуальні моделі у вигляді тонких пластин, перетини яких деформуються за формою зсуву.

Проведений порівняльний аналіз будівництва сейсмостійких споруд і існуючих методів оцінки сейсмостійкості будівель дозволяє зробити наступні висновки:

1. Необхідно систематизувати наявні Відомості по оцінці несучої здатності і деформативності будівель та споруд в умовах сейсмічної небезпеки, намітити шляхи їх подальшого розвитку;

2. Запропонувати методику динамічного розрахунку будівель та споруд на сейсмічні впливи, задані акселерограмами, при інтенсивних сейсмічних навантаженнях;

3. Удосконалити моделі будівель та споруд і моделі сейсмічного впливу при використанні розрахункових схем в скінченно-елементній формі;

4. Розробити спосіб застосування акселерограм землетрусів при визначенні сейсмічного навантаження з урахуванням доступних засобів комп'ютерного моделювання;

5. Удосконалити динамічні методи розрахунку будівель та споруд на основі деформаційного методу, рекомендованого діючими нормами;

6. Впровадити результати досліджень будівель і споруд на сейсмічні впливи в практику їх сейсмостійкого проектування.

Матеріали розділу опубліковані в роботах [1,2,4,8,13]

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ НА БУДІВЛІ І СПОРУДИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СЕЙСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

2.1. Уточнення прогнозованої сейсмічної інтенсивності (бальності) будівельних майданчиків з урахуванням результатів ДСР і СМР. Карти ОСР для Одеського регіону.

Виділяють три напрямки досліджень, які розглядаються в якості послідовних етапів сейсмічного районування:

- загальне сейсмічне районування (ЗСР);
- детальне сейсмічне районування (ДСР);
- сейсмічне мікрорайонування (СМР).

Загальне сейсмічне районування - дослідження з оцінки сейсмічної небезпеки великої території шляхом виділення крупних сейсмогенеруючих зон, які визначають сейсмічність великих районів. В результаті загального сейсмічного районування складаються карти масштабу 1: 2500000, які дозволяють раціонально планувати розвиток різних районів, здійснювати оцінку загальних витрат, необхідних для проведення антисейсмічних заходів в масштабі країни[12].

Загальне сейсмічне районування території України ЗСР-2004 в ДБН [2] дається в ймовірнісній формі у вигляді комплекту з 3 карт, на яких представлена прогнозована сейсмічна небезпека в ізолініях інтенсивності сейсмічних струшувань (балльности), яка може реалізуватися в кожній точці карти із заданою ймовірністю перевищення P протягом найближчих 50 років. Для карти ЗСР-2004 А (період повторення $T = 500$ років) - $P = 10\%$, для карти ЗСР-2004 В ($T = 1000$ років) $P = 5\%$, для карти ЗСР-2004 С ($T = 1000$ років) $P = 1\%$. Нормативна бальність на картах ЗСР-2004 відповідає ґрунтам 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

Карти ЗСР-2004 дають загальну картину розподілу параметрів сейсмічної небезпеки в цілих значеннях сейсмічної бальності за шкалою MSK-64 без її деталізації щодо пунктів спостережень.

На рис. 2.1 показано фрагменти карт ЗСР-2004 для території Одеської області. При їх розробці застосовувалася методологія [8, 9], що дозволяє коректно, оцінити рівень прогнозованої сейсмічної небезпеки.

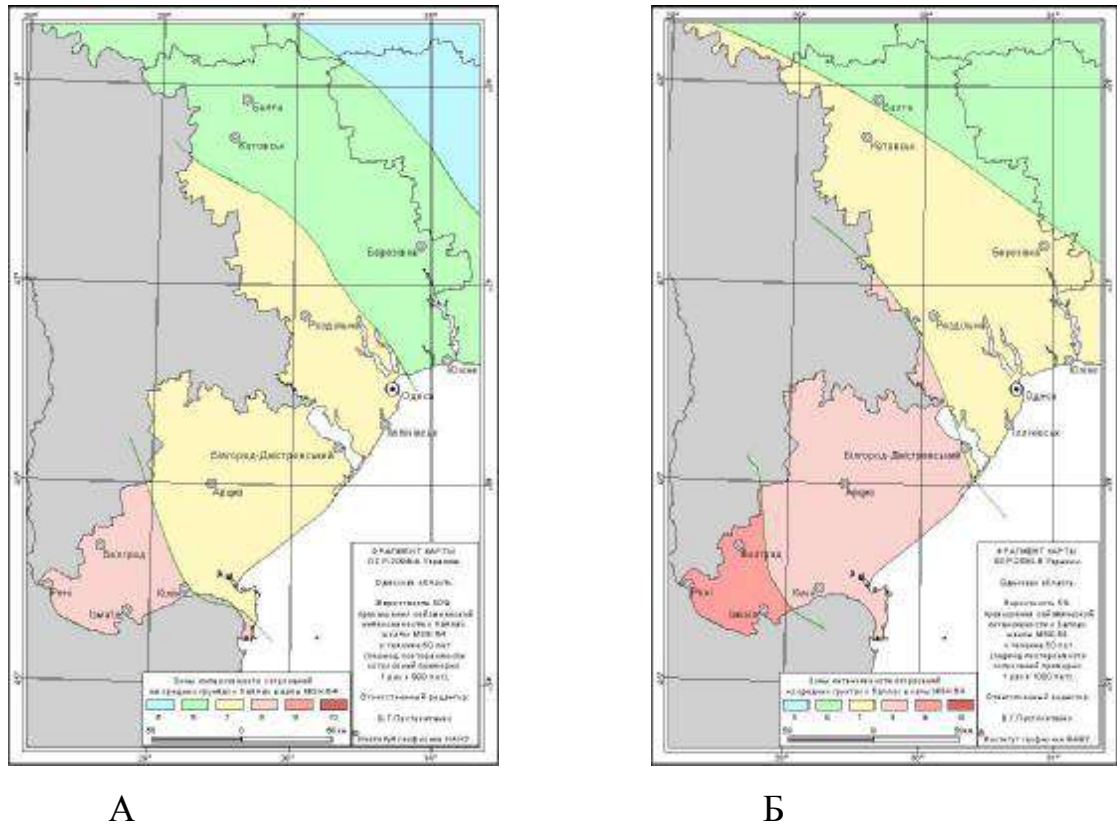


Рис. 2.1. Фрагмент карт ЗСР-2004 для Одеської області.

Детальне сейсмічне районування (ДСР), розроблялося для достатньо вивчених регіонів перспективного будівництва з більш детальним визначенням конкретних джерел (сейсмогенних розломів) сейсмічних впливів в масштабах М 1: 1 000 000, М 1: 500 000 і дуже рідко в масштабі М 1: 200 000.

ДСР відрізняється від ЗСР, як слідує з опису етапів сейсмічного районування території, в першу чергу, масштабом дослідження. При цьому в процесі проведення ДСР можуть і повинні вивчатися всі потенційні джерела можливих землетрусів, які можуть і не враховуватися, наприклад, через їх малий сейсмічний потенціал при проведенні ЗСР.

Проводиться оцінка сейсмічної небезпеки в термінах сейсмічної інтенсивності і в параметрах сейсмічних коливань для конкретного об'єкта. Deta-

льність досліджень повинна забезпечити виділення зон виникнення вогнищ землетрусів нижчих рангів, у порівнянні з виділеними при загальному сейсмічному районуванні [90]. Для цих цілей необхідно проводити спеціальні польові роботи. Зокрема, організовується локальна мережа сейсмічних станцій. При ДСР визначається більше параметрів: оцінюється швидкість поширення сейсмічних хвиль на глибині вогнища, типи механізмів у вогнищах тощо. Ще докладніші дослідження проводяться в радіусі 30-40 км навколо досліджуваного об'єкту в масштабі 1: 100 000 або більшому. Оцінки сейсмічної інтенсивності проводяться при ДСР з точністю до 0,5 бала. Крім сейсмічної інтенсивності визначаються оцінки основних параметрів коливань. При ДСР також оцінюється небезпека геологічних процесів, які можуть активізуватися в результаті землетрусу (крипові деформації, зсуви, обвали, селі та ін.). Параметри сейсмічності, що визначаються в результаті проведення ДСР, відносяться до середніх ґрунтових умов.

Сейсмічне мікрорайонування - оцінка сейсмічної небезпеки, при якій:

- враховується вплив місцевих ґрунтових умов на інтенсивність сейсмічних коливань на поверхні Землі;
- визначаються поправки, що зменшують, або збільшують, сейсмічність району задану картами загального або детальнього сейсмічного районування.

Сейсмічне мікрорайонування проводиться в рамках інженерних вишукувань для будівництва [90]. Карти ЗСР характеризують сейсмічну небезпеку території всієї країни і використовуються для соціально-економічного планування, раціонального землекористування. Виходячи з вище наведеного, карти СМР є уточненням карт ЗСР і ДСР. Роботи по СМР проводяться для визначення розрахункового сейсмічного впливу (design accelerogram) на споруди.

Роботи по СМР для будь-яких ділянок сейсмонебезпечних зон можуть дати уточнення сейсмічних впливів від землетрусів зазначеної інтенсивності

в сторону збільшення або зменшення. Таке уточнення можливо до величин ($-1 \div + 2$) бали за шкалою інтенсивностей MSK-64 або EMШ-98.

Існує два основні підходи до проведення СМР. Перший з них полягає в розрахунку зміни інтенсивності за геологічними даними. Додатково можуть уточнюватися імовірність виникнення зсувів і розрідження водонасичених ґрунтів при сейсмічних впливах. До цього класу методів можна віднести також методи моделювання геологічного середовища, методи синтезування розрахункових акселерограм і спекторів реакції для проектувальників будівель і споруд [91]. Другий підхід полягає в апаратурних дослідженнях і вимірах з метою уточнення фізичних характеристик прогнозованих коливань в умовах конкретних майданчиків.

2.2 Акселерограми землетрусів з місцевих вогнищевих зон і зони Вранча, зареєстрованих в Одесі в 2009 – 2018 роках.

Середня частота повторюваності землетрусів з $6.4 < M < 8.0$ для зони Вранча не перевищує кількох подій в століття [102]. З огляду на унікальність землетрусів зони Вранча, при побудові розрахункових акселерограм максимально використовувалася інформація про особливості випромінювання сейсмічної енергії з джерел і закономірності поширення сейсмічних коливань, що містяться в реальних записях землетрусів з цієї зони.

Інститут геофізики НАН України у своєму розпорядженні має базу цифрових сейсмічних записів землетрусів зони Вранча, що включає записи сильних подій, отримані молдавськими сейсмологами в Кишиневі; білоруськими - в Плещеніці і Гомелі; українськими - в Чернівцях, Чорнобилі, Одесі. Крім цього, є великий матеріал цифрової реєстрації слабких і проміжних за величиною сейсмічних подій на сейсмічній станції «Одеса-місто», «Степанівка» поблизу Одеси, на острові «Зміїний», а також на станціях «Київ-IRIS», «Київ-ІГФ», на майданчиках Чорнобильської АЕС, Київської ГЕС, Рівненської і Хмельницької АЕС та на ряді сейсмічних станцій Карпатського регіону: «Тросник», «Львів», «Мукачєво», «Чернівці».

На рис. 2.2 представлено коливання (в термінах зміщення), зареєстровані на сейсмічній станції ІГФ НАН України «Одеса-місто» поблизу Одеси при підкоровому землетрусі 25.04.2009 р. із зони Вранча (Румунія). Параметри землетрусу у вогнищі за даними Міжнародного сейсмологічного центру NEIC: $t_0 = 05\text{г. } 09\text{хв. } 39.67\text{с.}$ за Гринвічем, широта $\lambda = 45.749^\circ\text{N}$, довгота $\varphi = 26.734^\circ\text{E}$, глибина $h = 125\text{ км}$, $M = 4.9$. На рис. 2.3 наведено амплітудні спектри Фур'є цих коливань.

Наявність сейсмограм з відновлюваними динамічними характеристиками коливань відкриває можливість застосування способу генерації розрахункових акселерограм, в якому амплітудний спектр прогнозованого прискорення $A(\omega)$ / розраховується за допомогою регіональних емпіричних співвідношень, а фазовий спектр $\varphi(\omega)$ запозичується з реальних записів слабких землетрусів зони Вранча, зареєстрованих в районі розташування майданчика [103-105].

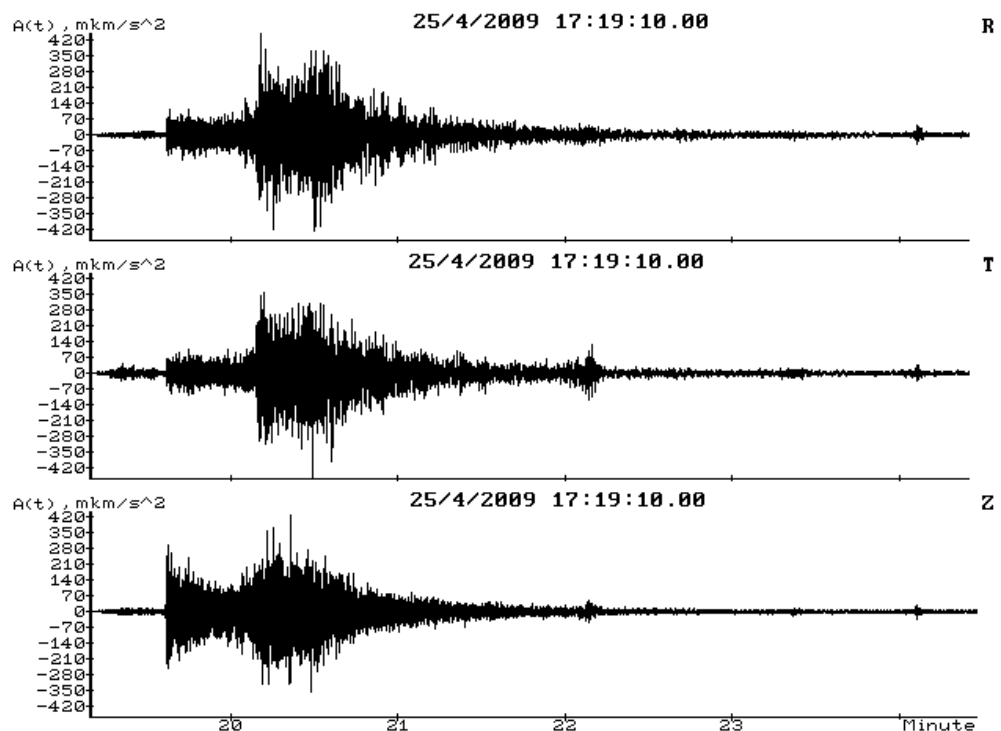


Рис. 2.2. Акселерограми коливань ґрунту розраховані за записом на сейсмічній станції «Одеса-місто» підкорового землетрусу 25.04.2009 р. із зони Вранча (Румунія).

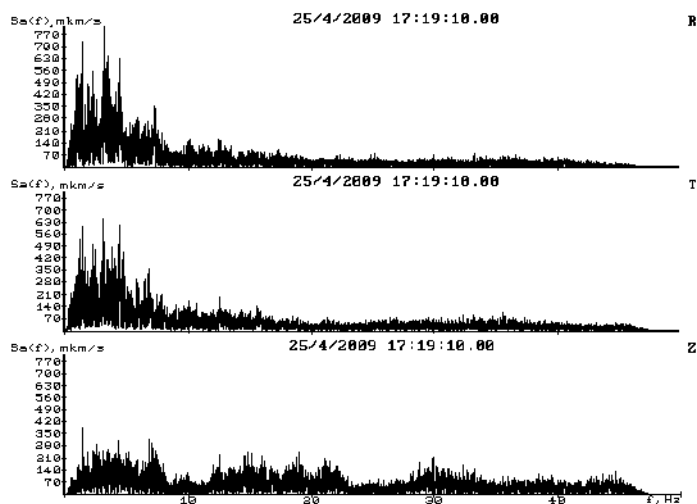


Рис. 2.3. Амплітудні спектри Фур'є прискорень коливань ґрунту.

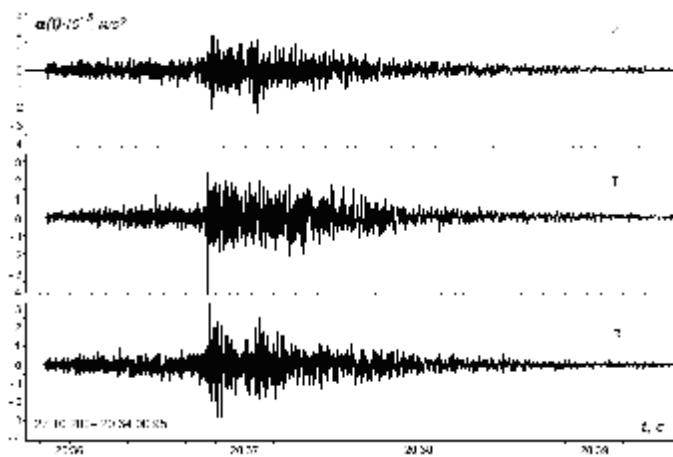


Рис. 2.4. Приклад акселерограми коливань ґрунту під сейсмічної станцією «Київ-IRIS» під час землетрусу 27.10.2004 р. із зони Вранча.

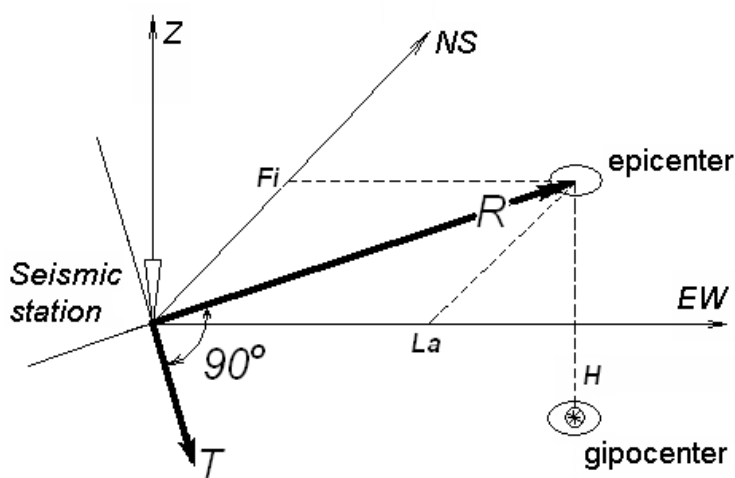


Рис. 2.5. Схема напрямків, яким відповідають компоненти запису повного вектора сейсмічних коливань на сейсмічних станціях: Z - вертикальна, NS і EW - горизонтальні «північ-південь» і «схід-захід», R - радіальна (спрямована в протилежному напрямку від вогнища землетрусу) і T - тангенціальна (нормальна до радіальної).

Для побудови теоретичного амплітудного спектра прискорень $/A(\omega)/$, який відповідає заданій компоненті коливань ґрунту на майданчику проєктованого будівництва об'єкта реконструкції гідротехнічної частини пірсу №2 ИСРЗ в с. Малодолинське, м. Чорноморськ, Одеська обл. при розрахункових землетрусах із зони Вранча, використовувалися залежності між параметрами цих подій у вогнищі і параметрами амплітудних спектрів акселерограми, спостережених на різних відстанях при різних землетрусах. На рис. 2.4, показана акселерограма коливань ґрунту на сейсмічній станції «Київ-IRIS» під час землетрусу 27.10.2004 р. із зони Вранча.

По всій сукупності наявних акселерограм коливань ґрунту при землетрусах зони Вранча будувалися рівняння, які описують зміну на різних частотах $f = \omega/2\pi$ рівня амплітудного спектра Фур'є акселерограми коливань - $|A_i(f)|$, в залежності від магнітуди землетрусів - M і гіпоцентральної відстані - Δ :

$$\log |A_i(f)| = a_i(f)M - b_i(f)\log(\Delta^2) + c_i(f) \pm s_i(f), \quad (2.1)$$

де індекс i - приймає значення: R, T, Z - і позначає належність відповідної змінної до компонентів коливань, відповідно: радіальної, тангенціальної горизонтальних або вертикальної; a_i , b_i , c_i - регіональні коефіцієнти; s_i - оцінка дисперсії.

2.2.1 Методика побудови розрахункових акселерограм на основі емпіричних даних і теоретичного моделювання.

У Державних будівельних нормах [2] передбачено, що для «будівель і споруд з принципово новими конструктивними рішеннями, які не пройшли експериментальної перевірки, об'єктів класу наслідків СС2 і СС3 для будівель вище 16 поверхів і споруд заввишки 50 м і більше, а також споруд з прольотами понад 30 м необхідний прямий динамічний розрахунок із застосуванням розрахункових акселерограм».

Можливість використання емпіричного фазового спектра записів реальних землетрусів для синтезу розрахункові акселерограми показана в роботах [106, 107]. Вона базується на припущенні, що фазовий спектр сейсмічних коливань, спостережених на будівельному майданчику при слабкому землетрусі з досліджуваної зони, в своїх основних рисах близький до фазового спектру інтегральної емпіричної функції Гріна, яка визначається особливостями випромінювання сейсмічної енергії з вогнища землетрусу і впливом транзитного середовища, в якому хвилі різних типів поширюються, відбиваючись і заломлюючись на неоднорідностях.

Для зони Вранча таке припущення є обґрунтованим. Вогнища сильних підкорових карпатських землетрусів зосереджені в порівняно компактній сейсмогенній зоні і мають, в основному, схожі механізми [102]. Можна сподіватися, що вплив цих землетрусів на досліджуваному будівельному майданчику буде визначатися генеральними рисами джерел і мати, в основному, схожий характер при різних землетрусах. З іншого боку, коливання ґрунту при землетрусах можуть мати випадкову складову, тому для їх моделювання необхідно синтезувати набір розрахункових акселерограм, що містять «консервативну» інформацію про різні ефекти, здатні підсилювати сейсмічні рухи на майданчику.

Описаний підхід дозволяє уникнути необхідності будувати функцію Гріна шляхом теоретичних розрахунків, для чого необхідно мати у своєму розпорядженні досить детальні дані про механізм вогнища та закономірності впливу геологічного середовища на шляху поширення сейсмічних хвиль від вогнища до майданчика. Отримати ці дані з достатньою точністю і детальністю за короткий час проведення геолого-геофізичних досліджень для об'єктів цивільного будівництва практично не можливо.

Нижче наводяться вихідні дані і результати застосування описаного вище підходу для побудови розрахункових акселерограм, які моделюють розрахунковий землетрус із зони Вранча на досліджуваному будівельному майданчику.

Вихідні дані. На першому етапі досліджень, визначалися параметри розрахункового землетрусу в зоні Вранча. З цією метою проводився аналіз сейсмостатичних даних про землетруси зони, зібрані в ІГФ НАН України за період з 1091 по 2014 рік. В результаті було встановлено, що один раз в 500 років в зоні Вранча може реалізуватися максимальний землетрус з $M = 7.9 \pm 0.1$.

Аналіз даних про геологічну будову зони, спільно з даними про просторовий розподіл сейсмічної активності, дозволив оцінити координати найближчого від досліджуваного майданчика потенційного вогнища розрахункового землетрусу як: $\varphi = (45.70 \pm 0.05)^\circ\text{N}$, $\lambda = (26.65 \pm 0.10)^\circ\text{E}$, $h = 125$ км. Координати вогнища тут відповідають «центру випромінювання енергії».

Параметри джерел розрахункових землетрусів і емпірична залежність (2.1) використовувалися для побудови середніх теоретичних амплітудних спектрів, які моделюють спектри розрахункового землетрусу із зони Вранча на будівельному майданчику в с. Малодолинське, м. Чорноморськ Одеської області.

На рис. 2.6 наведено огинаючі амплітудних спектрів компонент розрахункових акселерограм $|A'(\omega)|$ для 50% -ої ймовірності неперевикнення розрахункових впливів.

Максимальні по амплітуді коливання будуть спостерігатися на горизонтальній тангенціальній компоненті. Амплітудний спектр коливань на вертикальній компоненті приблизно вдвічі нижчий, але при цьому є більш високочастотним.

Для врахування фільтруючих (резонансних) властивостей ґрунтів на данному майданчику теоретичні спектри множилися на нормовані (на максимальне для всіх компонент значення) узагальнені теоретичні частотні характеристики (УТЧХ) середовища - $H_k(i\omega)$. Індекс k відповідає різним складовим записів і приймає значення: Z - для вертикальної, R - для радіальної горизонтальній і T - для тангенціальної горизонтальної компонент коливань.

Амплітудні УТЧХ - $|H_k(i\omega)|$ розраховувані за даними моделі будови верхньої частини розрізу середовища під майданчиком проектного будівництва об'єкта реконструкції гідротехнічної частини пірсу №2 ИСРЗ для прийому суден типу «Панамакс» під обробку зернових вантажів представлені в Таблиці 2.1. В якості амплітудних УТЧХ використовуються огинаючі амплітудних частотних характеристик геологічного середовища під майданчиком, розраховані для поздовжніх і поперечних хвиль, падаючих під кутами, які змінюються в діапазоні 70-90 градусів з кроком в 5 градусів. Більш детально теоретичні аспекти побудови частотних характеристик горизонтально-шаруватих моделей середовища викладені в роботах [108-110].

В цілому, на ділянці відбувається плавне зростання швидкості з глибиною. Найбільш контрастною на досліджуваній ділянці можна вважати границю на глибині 17 м, що відповідає подошві легких глин. Середня швидкість поперечних хвиль, що спостерігаються на графіку швидкостей, дорівнює 230 м/с.

Для контролю достовірності зроблених розрахунків використовувалася стандартна програма SHAKE [111].

На рис. 2.7 приведено приклад амплітудної частотної характеристики середовища одержаної для випадку падіння поперечної хвилі знизу на вільну поверхню півпростору.

Таблиця 2.1. Модель середовища під майданчиком проектного реконструкції гідротехнічної частини пірсу.

№ пп.	Літологічний склад	Глибина до подошви шару $H, м$	Швидкість сейсмічних хвиль		Декременти поглинання сейсмічних хвиль		Густина порід $\rho, г/см^3$
			поздовжньої $V_p, м/сек$	поперечної $V_s, м/сек$	поздовжньої ν_p	поперечної ν_s	
1	Наноси	1,2	130	80	0,08	0,15	1,6
2	Или, суглинки	1,8	190	120	0,07	0,15	1,46

Продовження Таблиці 2.1

3	Глина піщаниста	5,5	360	240	0,06	0,08	2,0
4	Гли, глина	7,2	290	200	0,07	0,10	1,9
5	Глина легка	10,4	380	240	0,06	0,07	2,0
6	Глина піщаниста	11,8	400	250	0,05	0,07	2,05
7	Глина легка	17,0	420	270	0,04	0,07	2,0
8	Глина піщаниста з прошарками легкої глини	25,0	1000	600	0,04	0,05	2,0
9	Глина зеленова- то-сіра	35,0	1300	750	0,03	0,05	1,94
10	Глина зеленова- то-сіра	39,0	1800	900	0,03	0,04	1,95
11	Крейда, глина	80,0	2600	1400	0,02	0,03	2,2
12	Мергель	171,0	3000	1900	0,02	0,02	2,4
13	Піщаники, арге- літи, глини	871,0	3600	2300	0,01	0,01	2,6
14	Граніти, біотито- ві гнейси	1471,0	5000	3000	0,01	0,01	2,9

Амплітудні спектри розрахункових акселерограм одержуються в результаті множення теоретичних амплітудних спектрів розрахункових акселерограми Рис. 2.6 на нормовану УТЧХ середовища для заданої компоненти.

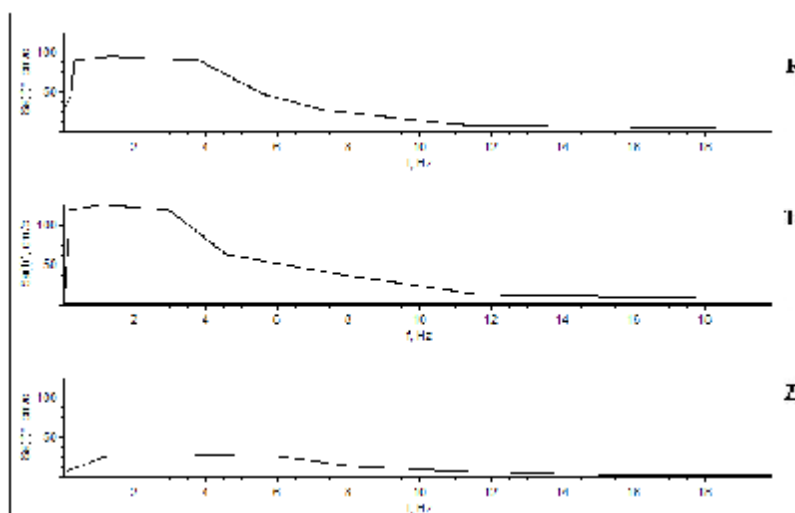


Рис. 2.6. Огинаючі амплітудних спектрів розрахункових акселерограм.

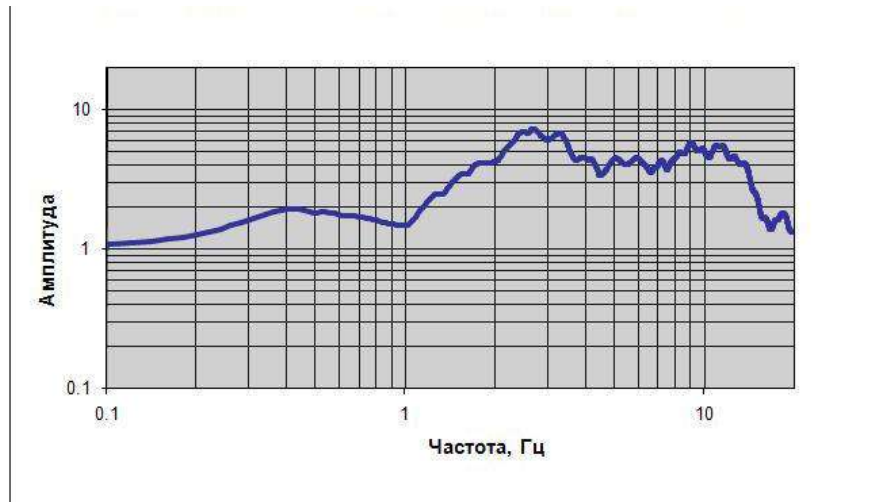


Рис. 2.7. Амплітудні ЧХ моделі ґрунтової товщі під майданчиком проектного будівництва.

На рис. 2.8 представлено побудовані описаним вище способом амплітудні спектри розрахункової акселерограми, якою моделюють 7-ми бальний землетрус із зони Вранча на майданчику проектного будівництва об'єкта реконструкції гідротехнічної частини пірсу №2 ИСРЗ для прийому суден типу «Панамакс» під обробку зернових вантажів розташованого в с. Малоодлинське, м. Чорноморськ Одеської обл.

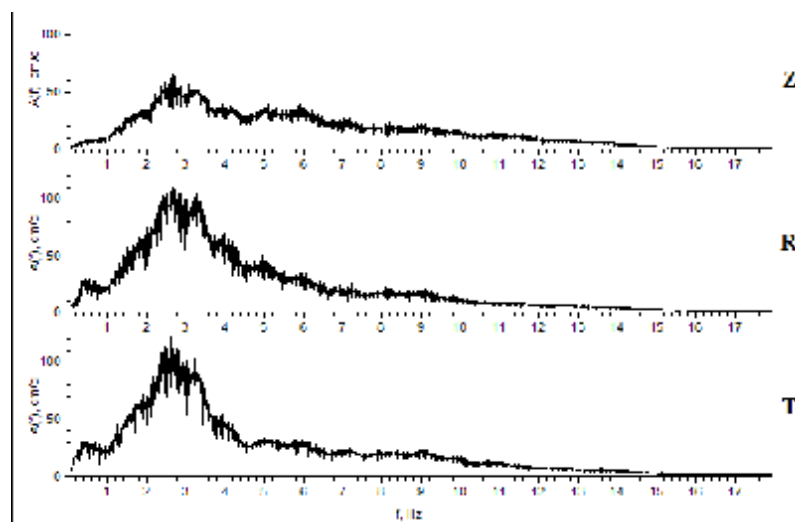


Рис. 2.8. Амплітудні спектри розрахункової акселерограми, що моделює 7-ми бальний землетрус із зони Вранча.

Для формування фазового спектра розрахункової акселерограми використовувалися спектри, розраховані для відповідних складових записів землетрусів із зони Вранча, зареєстрованих на сейсмічній станції «Степанівка» поблизу м. Одеси. Приклад такого запису представлено на рис. 2.1. В Таблиці 2.2 наведено параметри інших землетрусів, записи яких використовувалися для побудови фазових спектрів розрахункових акселерограм.

Перед використанням для генерації розрахункових акселерограм, записи, зареєстровані на різних сейсмічних станціях, перераховувалися на досліджуваний будівельний майданчик з урахуванням відмінностей в епіцентральним відстанях, азимутах, кутах виходу сейсмічної радіації і частотних характеристиках середовища під майданчиком.

Розрахункові акселерограми, якими моделюють землетруси зони Вранча на будівельному майданчику, синтезувалися за допомогою регуляризуючого алгоритму зворотнього перетворення Фур'є [104].

Таблиця 2.2. Параметри землетрусів зони Вранча, зареєстрованих цифровими сейсмостанціями, розташованими в південно-західному регіоні України і на півдні Молдови.

<i>Дата: день, місяць, рік</i>	<i>$j \bullet N$</i>	<i>$l \bullet E$</i>	<i>$h, \text{ км}$</i>	<i>M</i>
08.09.2011	45.58	26.53	150	4.8
01.12.2012	45.75	26.76	78	4.6
11.08.2013	45.81	26.82	94	4.3
29.03.2014	45.36	26.25	147	4.3
22.11.2014	45.87	27.16	39	5.6
29.03.2015	45.62	26.46	142	4.5
16.03.2015	45.65	26.48	113	4.5
24.01.2015	45.70	26.57	84	4.5
23.09.2016	45.71	26.62	92	5.7
27.12.2016	45.71	26.61	98	5.6

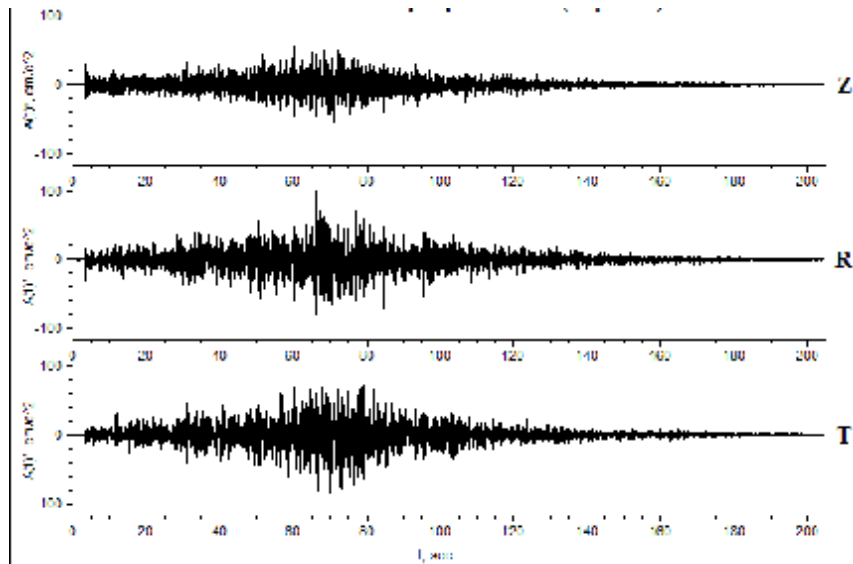


Рис. 2.9. Графік трикомпонентної розрахункової акселерограми, що моделює з 50% -ою забезпеченістю 7-ми бальної розрахунковий землетрус із зони Вранча.

На рис. 2.9 наведено приклад графіка трикомпонентної розрахункової акселерограми, що моделює з 50%-ою забезпеченістю землетрус із зони Вранча з інтенсивністю 7 балів на вільній поверхні ґрунту майданчика проєктованого будівництва об'єкта реконструкція гідротехнічної частини пірсу №2 ИСРЗ розташованого в с. Малодолинське, м. Чорноморськ Одеської обл.

2.2.2 Характеристики середовища на майданчиках Одеського регіону.

В Одеському регіоні, в умовах Причорноморського лесового плато, верхня частина розрізу представлена сухими лесовидними суглинками, що відрізняються високими значеннями модуля деформації. Відповідно, в сейсморозвідувальних даних це відбивається значним підвищенням сейсмічної жорсткості і швидкості поширення хвиль в верхньому шарі над рівнем ґрунтових вод. У товщі лесових суглинків зустрічаються пласти обводнених супісків, що мають, як правило, низькі значення показників міцності, що також проявляється зменшенням швидкості поширення сейсмічних хвиль. Тому, на тлі зростання швидкостей сейсмічних хвиль з глибиною, що пов'язано з консолідацією ґрунтів, в швидкісному розрізі спостерігаються пласти пониженої швидкості.

Високошвидкісний шар у верхній частині розрізу виступає в якості просторового фільтра низькошвидкісних хвиль. Це спотворює хвильову картину перших вступів на малих відстанях від джерела. Перші вступу в такій ситуації простежуються у вигляді кусочно-неперервної функції з високими швидкостями в інтервалах безперервності. У кінематичному плані, наявність високошвидкісного шару у верхній частині розрізу призводить до загального «розтягування» годографа. В результаті, для спостереження заломлених хвиль потрібно значне збільшення інтервалу простежування годографа, тобто бази спостережень. Ефект розтягування годографа призводить також до значних помилок інтерпретації при застосуванні традиційних методів середніх швидкостей [112].

Наявність пластів пониженої швидкості - хвилеводів, викликає екранування заломлених хвиль від глибинних горизонтів [112], в результаті чого розв'язок зворотної кінематичної задачі, тобто відновлення швидкісного розрізу по годографу заломлених хвиль, стає неоднозначним.

Точне, і, в деяких випадках, однозначне відновлення швидкісного розрізу за даними методу КМПВ в наявних умовах є практично не досяжним. Тому, для практичного вирішення зворотної кінематичної задачі, застосовується метод збурень і лінеаризації, який є, по суті, розвитком методу середніх швидкостей і в сучасному трактуванні відомий як метод томографії.

Неважко бачити, що для горизонтально-шаруватої моделі середовища, якщо відомі променеві траєкторії, визначення швидкостей поширення хвиль зводиться до вирішення системи лінійних рівнянь, що пов'язують часи пробігу уздовж траєкторії з спостережуваним часом на поверхневому годографі.

Таким чином, завдання зводиться до побудови променевих траєкторій. Метод збурень, в даному застосуванні, засновано на припущенні малої зміни променевих траєкторій при малій зміні швидкості. По суті - це основна теза в застосуванні методу середніх швидкостей в сейморозвідці. Для побудови променевих траєкторій використовується уявлення про регулярну модель середовища з монотонним зростанням швидкості з глибиною. У цьому

випадку, при не надто швидкому зростанні швидкості [112], виключається утворення петель годографа, і будь-якому годографу з цього класу однозначно відповідає модель середовища з монотонним зростанням швидкості з глибиною. При цьому, точки повороту траєкторій (точки рефракції) безперервно покривають весь інтервал глибин.

В застосованому алгоритмі, променеві траєкторії будуються на основі моделі середовища, отриманої при вирішенні оберненої задачі на регулярному годографі, яким апроксимуються спостережені годографи. Відповідно, принциповим моментом є апроксимація значень годографа строго опуклою монотонно зростаючою функцією. Для цього застосовується така послідовність дій. Вихідний годограф згладжується і експандується. В якості експандера застосовується опукле вниз перетворення - зведення в квадрат і зміщення значень часів згладженого годографа. Для отриманої функції будується кусочно-лінійна опукла огинаюча. Далі виконується зворотне до експандування перетворення. В результаті виходить строго опукла функція, що апроксимує вихідний годограф. Особливість даної процедури полягає в тому, що у випадку, якщо вихідний годограф є регулярним, тобто опуклим, послідовність виконаних перетворень його не змінює.

При апроксимуванні годографу вирішується завдання відновлення швидкісного розрізу і побудова променевих траєкторій для кожної точки годографа. Далі вирішується лінійна задача визначення швидкостей на відомих траєкторіях і часах спостереженого годографа.

Виникаючі при цьому рішення розподілу швидкостей характеризуються певною гладкістю, яка впливає з постановки завдання. Отримання не гладких рішень, тобто уявлення середовища у вигляді декількох товстих шарів зі стрибками швидкості, в даній постановці пов'язане з втратою стійкості розв'язку. Як показують чисельні експерименти, одержувані гладкі рішення дають адекватне уявлення про середню швидкість в верхньому 10-ти метровому шарі розрізу.

Поглинання сейсмічних хвиль оцінюється, виходячи з уявлення про експоненційне загасання сейсмічних хвиль і лінійній залежності коефіцієнта загасання з частотою. При цих припущеннях представницьким показником є логарифмічний коефіцієнт загасання. Він визначається як логарифм відношення амплітуд плоскої монохроматичної хвилі на відстані пробігу однієї довжини хвилі [112]. Таким чином, визначення поглинання вимагає порівняння спектрів хвиль, пов'язаних з відбиттям або заломленням на окремих границях. У зв'язку зі складною будовою середовища, виділення і спектральний аналіз форм хвиль, пов'язаних з відбиттям або заломленням на окремих границях, практично неможливий. Апаратурні похибки і перешкоди також значно спотворюють реальний спектральний склад коливань. Тому усталені оцінки виходять тільки для середніх оцінок, наприклад, поглинання на певному значному інтервалі глибин. У такій постановці для оцінки поглинання можна використовувати найбільш стійкі характеристики спостережуваних сигналів.

Припускаючи статичний характер зростання спектра сигналу в області низьких частот (сейсмоприймач, фільтри апаратури), і експонентний, - в області високих частот, можна показати, що частота максимуму спектра сигналу (переважаючий період) безпосередньо характеризує поглинання.

У даній роботі застосовується оцінка середнього періоду коливань, яка, визначається по кореляційній функції інтервалу траси, що містить кілька фаз перших вступів. Для оцінки поглинання будується графік залежності зміни середнього періоду коливань від часу приходу хвиль в перших вступях. Декремент поглинання обчислюється як похідна залежності періоду від часу приходу хвиль.

2.2.3 Інтерпретація даних інструментальних спостережень методом сейсмічних жорсткостей.

Положення профілю сейсмічної розстановки показано на плані майданчика (рис. 2.10).



Рис. 2.10 Ситуаційний план об'єкта реконструкція гідротехнічної частини пірсу.

Дослідження за методом сейсмічних жорсткостей проводилися на двох ділянках (точках), позначених на плані рис. 2.10 як T1, T2, за двома профілями (групам розстановок). Окремо показано результати польових спостережень на вказаних ділянках.

На всіх ділянках вибирався представницький профіль спостережень і по ньому формувалася узагальнена монтажна сейсмограма. У монтажних сейсмограмах спостережень поперечних хвиль траси з непарним номером відповідають лівосторонній поляризації впливу, а траси з парними номерами містять інвертовані записи правобічної поляризації впливу.

В результаті такого монтажу хвилі, що залежать від полярності впливу (поперечної хвилі) простежуються безперервно. А хвилі - перешкоди (поздовжні) від траси до траси змінюють полярність, тобто безперервно не корелюються. Полярність впливу означає в даному випадку генерування поперечних хвиль ударом кувалди в правий або лівий борт траншеї. Максимальне віддалення від пункту збудження до пункту прийому в експерименті склало 72 м. Сейсмограми спостережень поздовжніх хвиль формувалися з кроком між каналами 2 м.

Монтажні сейсмограми поперечних і поздовжніх хвиль показані на рис. 2.11 - 2.18. У порівнянні сейсмограм, отриманих при різних полярнос-

тях впливу, і безпосередньо по монтажних сейсмограмах поперечних хвиль встановлено, що вони, в основному, містять записи поперечних коливань, що реєструються у перших вступках. У багатьох інтервалах спостережень у перші вступки потрапляють нерегулярні хвилі - перешкоди, однією з можливих причин утворення яких служить виникнення петель годографа в зв'язку з аномально високим темпом зростання швидкості з глибиною. Регулярні хвилі-перешкоди пов'язані, в основному, з не монотонністю глибинного швидкісного розрізу. Наявність тонких високошвидкісних прошарків створює на сейсмограмі стійкі вступки високошвидкісних хвиль, випереджаючих монотонний годограф. Модель, в першому наближенні, апроксимується тришаровим швидкісним розрізом.

На представлених нижче рисунках наведено результати побудови апроксимуючого і швидкісного розрізу по методу збурень і лінеаризації. Також наведено графік середньої швидкості. Середня швидкість розраховувалася як результат ділення глибини на час поширення хвилі.

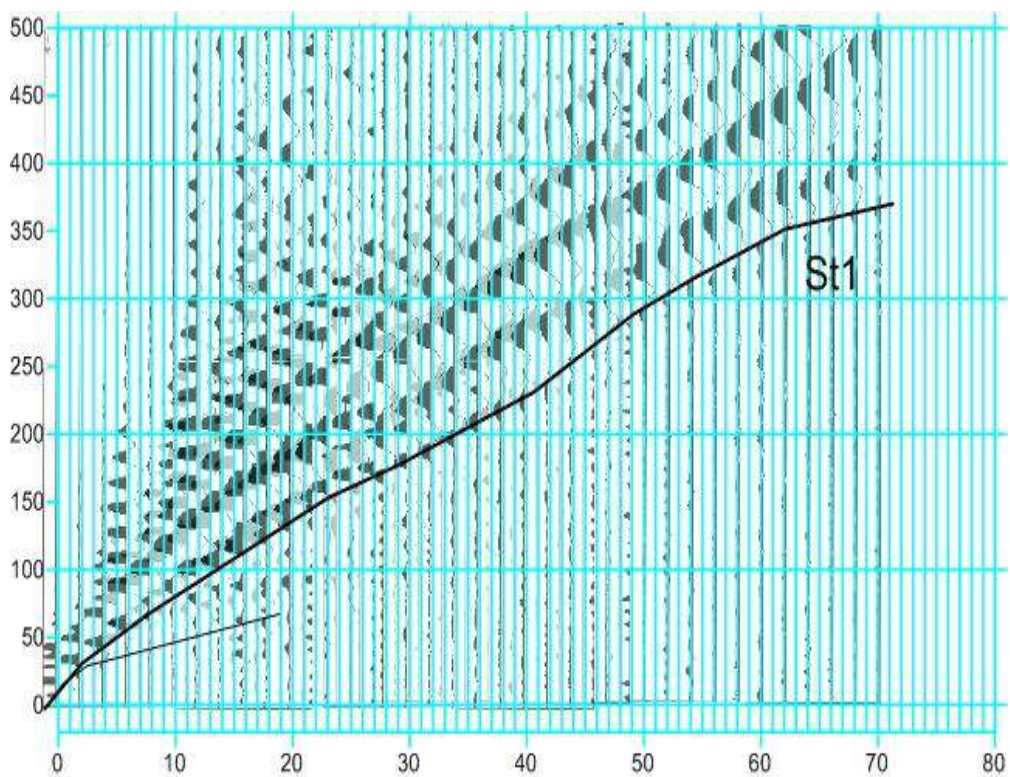


Рис. 2.11. Монтажна сейсмограма поперечних хвиль. Ділянка Т1.

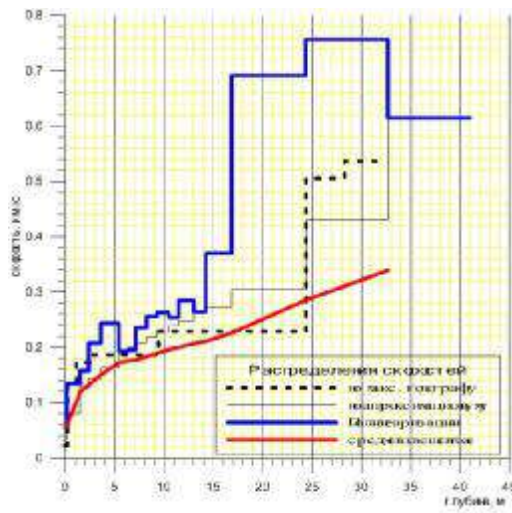


Рис. 2.12. Швидкісний розріз поперечних хвиль. Ділянка Т1.

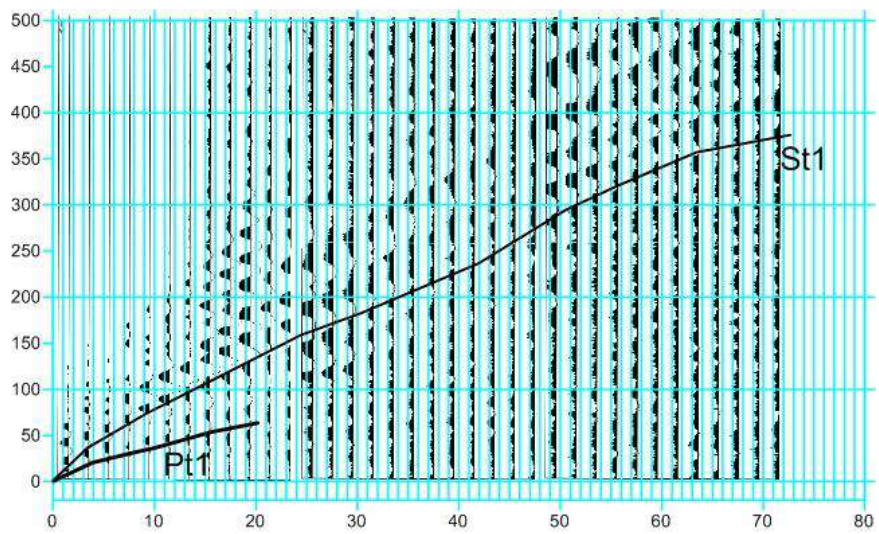


Рис. 2.13. Монтажна сейсмограма поздовжніх хвиль. Ділянка Т1.

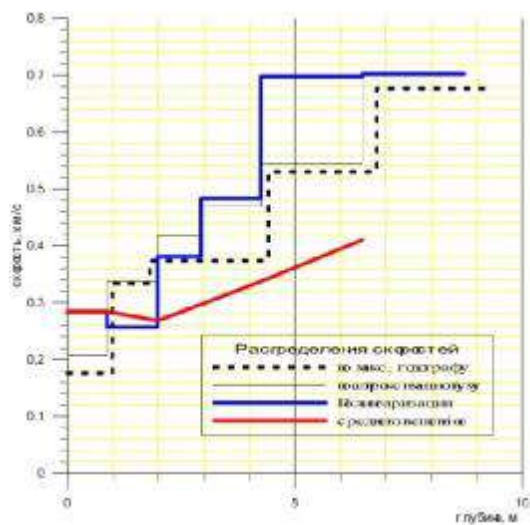


Рис. 2.14. Швидкісний розріз поздовжніх хвиль. Ділянка Т1.

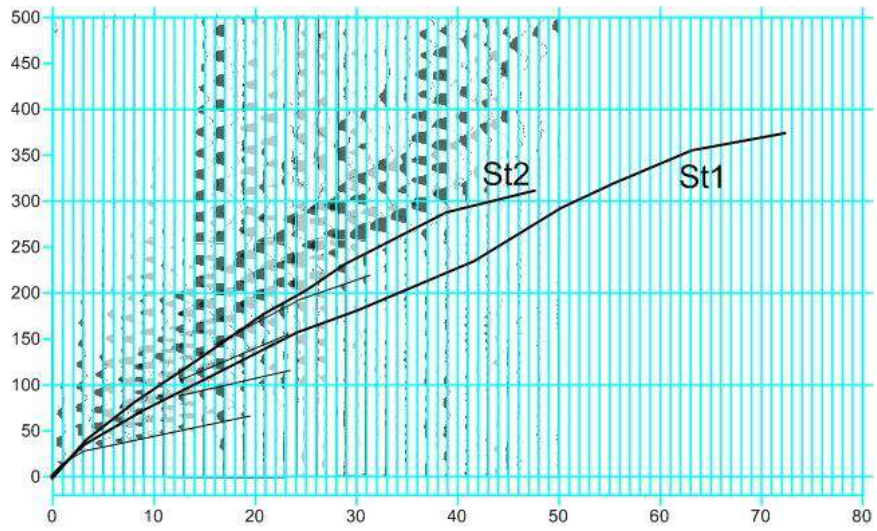


Рис. 2.15. Монтажна сейсмограма поперечних хвиль. Ділянка Т2.

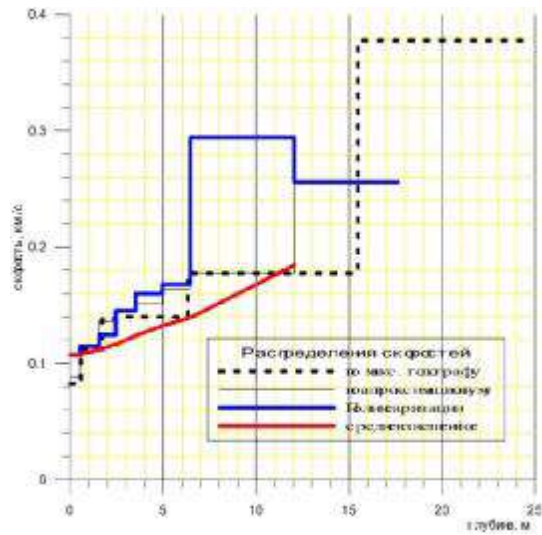


Рис. 2.16. Швидкісний позріз поперечних хвиль. Ділянка Т2.

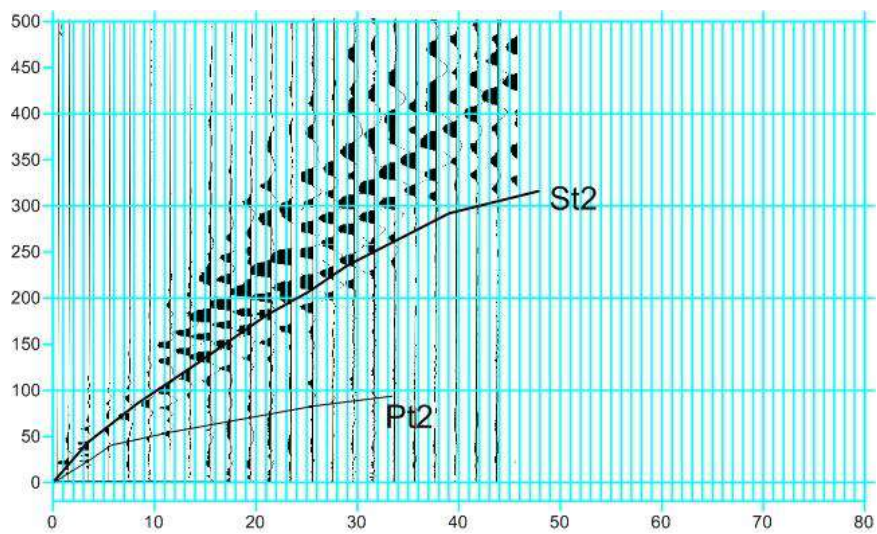


Рис. 2.17. Монтажна сейсмограма поздовжніх хвиль. Ділянка Т2.

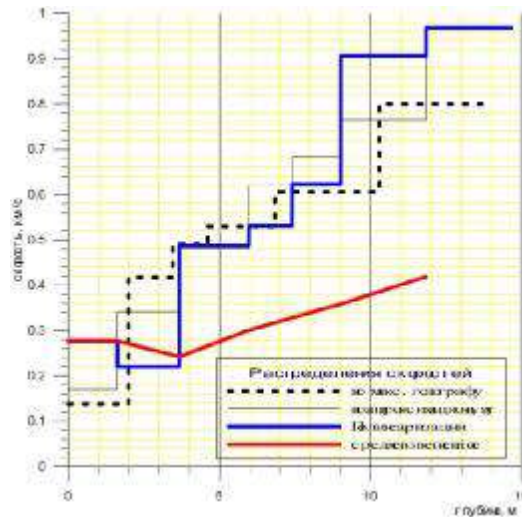


Рис. 2.18. Швидкісний розріз поздовжніх хвиль. Ділянка Т2.

Результати інтерпретації годографів поперечних і поздовжніх хвиль зведено в Таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Розподіл швидкостей сейсмічних хвиль по ділянках досліджень.

№ Ділянка	<i>Швидкості поперечних хвиль</i> <i>Vs, m/s</i>			<i>Швидкості поздовжніх хвиль</i> <i>Vp, m/s</i>		
	Середня, h=10м	Мінімум, h=0м	Максимум, h=20м	Середня, h=10м	Мінімум, h=0м	Максимум, h=20м
1	190	80	600	400	160	800
2	190	100	400	480	180	600
Представницькі значення	190	80	600	400	160	800

З таблиці бачимо, що в 10-ти метровій товщі від позначки планування, по якій формально визначається сейсмічність ділянки, величина середньої швидкості поперечних хвиль становить 190 м/с. Для подальшої інтерпретації даних і побудови сейсмогеологічної моделі в якості представницьких обрано мінімальні значення швидкостей, для яких збільшення сейсмічності буде максимальним, тобто буде становити великий ризик.

Швидкості поперечних і поздовжніх хвиль у верхній частині розрізу монотонно і відносно швидко зростають з глибиною, що обумовлює можливе

зростання амплітуди сейсмічної хвилі. Тому більш ймовірні оцінки слід очікувати в результаті розрахунків сейсмічного поля в побудованих моделях.

Далі, для розрахунків збільшення сейсмічності, в якості середніх використовувалися вибрані представницькі дані при швидкостях: $V_s = 190$ m/s, $V_p = 400$ m/s.

Відношення середньої швидкості поперечних хвиль до середньої швидкості поздовжніх хвиль в 10-ти метровому шарі: $V_s/V_p = 190/400 = 0,475$.

Високе значення коефіцієнта Пуассона свідчить про складання розрізу слабкими (мулистими) ґрунтами. У порівнянні отриманих графіків швидкостей поперечних і поздовжніх хвиль та даних інженерних вишукувань, виділено окремі шари, для яких обчислено середні пластові швидкості. Дані швидкісної моделі середовища, що рекомендується для розрахунків спектральних характеристик і акселерограм, відображено в Таблиці 2.3 .

Вибір еталонного ґрунту. Відповідно до РСН-60-86 [4], для оцінки приросту сейсмічності потрібно вибрати еталонний ґрунт [114], близький за сейсмічними властивостями до ґрунту 2-ї категорії. На території, близькій до майданчика досліджень, на правому березі Сухого лиману, виявлено ділянку, складену, в основному, скельним ґрунтом вапняку, що за правилами районування відповідає ґрунтам першої категорії за сейсмічними властивостями. На цій ділянці обрано пункт еталонних спостережень за методом сейсмічних жорсткостей і методом мікросейсм. За результатами дослідних робіт, на еталонній ділянці ґрунти характеризуються такими середніми параметрами: $V_e = 430$ м/с, $\rho_e = 1.75$ /м³, где V_e – швидкість поперечних хвиль, ρ_e – щільність ґрунту.

Приріст інтенсивності сейсмічних струшувань в балах за рахунок зміни сейсмічної жорсткості визначаємо за формулою:

$$\Delta I_{G1} = 1,67 * Lg \left[\frac{V_e * r_e}{V_c * r_c} \right],$$

де індекси «e» і «c» відносяться, відповідно, до параметрів еталонного шару і середніх значень параметрів в 10-ти метровому шарі, отриманих інструментальними вимірами:

$$\Delta IG1 = 1.67 \cdot \lg (430 \cdot 1.75 / 190 \cdot 1.92) = +0.53 \text{ балла.}$$

Таким чином, сейсмічність майданчика по параметру сейсмічної жорсткості є на +0,53 бала більшою від сейсмічності еталонного майданчика.

Приріст сейсмічності за рахунок обводнення оцінюється за емпіричною формулою Медведева:

$$\Delta I_{G3} = a * e^{-0,04 * h^2}$$

Берегова частина території є обводненою. Глибина рівня ґрунтових вод визначається відміткою берега і становить від 1,8 м. Згідно з РСН 65-87 [5] для глинистих ґрунтів покладемо $\alpha = 1$. Отже, згідно з формулою Медведева, отримаємо приріст сейсмічності (в балах) за рахунок обводнення берегової території:

Приріст сейсмічності за рахунок резонансних явищ не оцінювався, оскільки періоди коливань ґрунту в 10-ти метровій товщі є значно меншими від періодів власних коливань споруди.

Загальна приріст сейсмічності для ділянки за шкалою MSK-64 складе:

$$\Delta IG = \Delta IG1 + \Delta IG3 = +0,53 + 0,0 = +0,53 \text{ балла.}$$

В оцінку збільшення сейсмічності гідротехнічної частини пірсу №2 ИСРЗ приріст сейсмічності за рахунок обводнення не включаємо, оскільки фундамент споруди знаходиться нижче рівня обводнення і на нього не впливає можливий гідравлічний удар, що формується на границі рівня ґрунтових

вод. Ця поправка носить виключно емпіричний статистичний характер. Тому більш достовірна оцінка збільшення сейсмічності може бути отримана при співставленні з інструментальними даними спостереження за мікросейсмами.

2.3 Визначення навантажень і впливів на об'єкти підвищеної відповідальності.

З 10 червня 2017р. вступив в силу Закон України від 17 січня 2017 року № 1817 VIII «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення містобудівної діяльності».

На рівні закону визначено поняття класу наслідків (відповідальності) і критерії для віднесення об'єктів до класів СС1, СС2 і СС3.

Всі об'єкти поділяються за такими класами наслідків (consequence class): відповідальності: незначні наслідки - СС1; середні наслідки - СС2; значні наслідки - СС3.

Визначення класу наслідків будівель базується на рекомендаціях [113, 114], в яких реалізована процедура оцінки надійності споруд і їх конструктивних елементів та призначені коефіцієнти, які використовуються в розрахункових ситуаціях.

На рівні Євросоюзу встановлюються вимоги до проектування будівельних конструкцій. Вимоги до проектування конкретних об'єктів встановлюються кожною країною окремо з урахуванням специфіки територій, національних традицій, економічного стану держави тощо.

Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р №1764), зі змінами, внесеними згідно Постанов Кабінету Міністрів України: №1390 (1390-2011-п) від 28.12.2011, №112 (112-2017-п) від 01.03.2017. Остання Постанова розроблена з урахуванням вимог Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року, про зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень і визначає основні вимоги до будівельних виробів, будівель і споруд по забезпеченню безпеки

життя і здоров'я людини, безпеки експлуатації, механічного опору та стійкості, пожежної безпеки, економії енергії, захисту навколишнього середовища, а також процедури оцінки відповідності виробів установленим вимогам та визначає порядок їх застосування.

Вимоги безпеки і одночасно прагнення до здешевлення будівель і споруд породжує проблему, яка висувається на перший план у зв'язку з високими темпами зростання будівництва. В сучасних містах, де різко збільшується техногенне навантаження на будівельні об'єкти, достовірна інформація про величину вразливості споруд та рівень сейсмічної небезпеки є необхідною умовою сталого розвитку.

Забезпечення безпеки будівельних проектів є в даний час одними з найбільш актуальних і найважливіших завдань державної політики в галузі національної безпеки.

Сучасна методологія і методи оцінки сейсмічної небезпеки дозволяють коректніше оцінити прогнозовані сейсмічні впливи для різних періодів повторюваності подій із заданою мірою відносного сейсмічного ризику (рис. 2.19). Результати досліджень українських сейсмологів переконливо свідчать про те, що сейсмічна небезпека в Одеському регіоні до 2007 року була суттєво занижена на картах Загального сейсмічного районування СР-78. Імовірність виникнення землетрусів з інтенсивністю 7 балів в цьому районі є досить високою (табл.2.4).

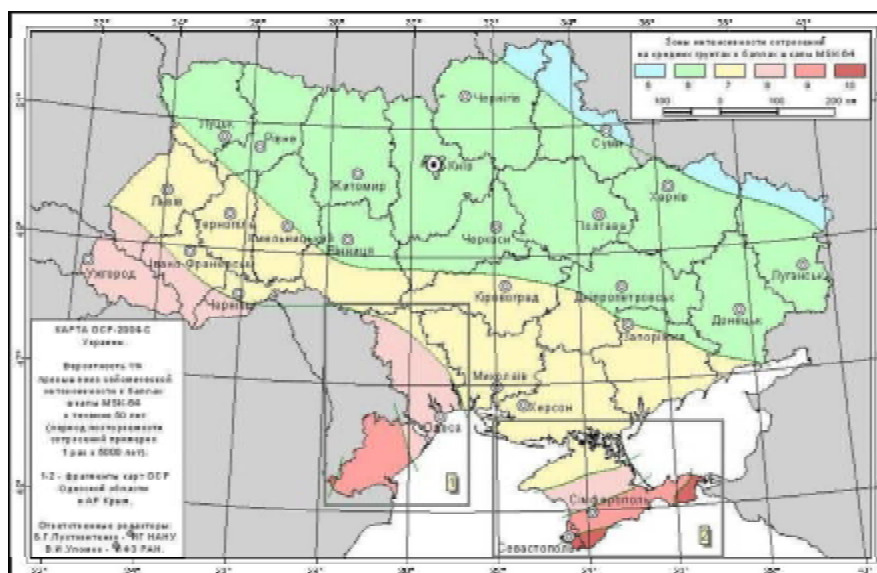


Рисунок 2.19. Карта загального сейсмічного районування України для імовірності 1% перевищень сейсмічної інтенсивності в балах шкали України протягом 50 років [2].

Таблиця 2.4 Сейсмічні події з магнітудою >4 за 2008÷2017 роки

Рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Магнітуда	4,0-5,0	4,0-5,3	4,5	4,0-4,8	4,0-4,6	4,0-5,3	4,0-4,7	4-4,5	4-5,8	4-4,8
Кількість	8	8	2	8	14	15	18	19	6	9

У таблиці 2.5 приведено список руйнівних землетрусів, що відбулися в сейсмоактивній зоні Вранча, та інтенсивність їх проявів у великих містах Молдови, України і Росії [28].

Таблиця 2.5 Руйнівні землетруси Румунських Карпат (зони Вранча)

Дата виникнення землетрусу	Магнітуда	Інтенсивність в епіцентрі, бали	Інтенсивність землетрусу в містах, бали				
			Кишинів	Львів	Чернівці	Одеса	Київ
26.10.1802	7,5	9-10	7	4	7	7	5
26.11.1829	6,5	8	7		6	6	4-5
23.01.1838	7,0	9	7	4-5	6	6	4-5
6.10.1908	6,75	8	6	5	6	6	5
10.11.1940	7,3	9	7-8	5	6	7	5
4.03.1977	7,2	9	6-7	4	5-6	5-6	4-5
30.08.1986	7,0	8-9	6	4	5	5	4
30.05.1990	6,7	8-9	6	4	5	5	4

2.4 Уточнення сейсмічного ризику

Рівень втрат (ризик) при можливому землетрусі є результат комбінації уразливості споруди і сейсмічної небезпеки. В даний час в Україні ведеться інтенсивне освоєння територій під забудову не лише житлових будівель, але і унікальних, відповідальних споруд, руйнування яких при сейсмічних впливах може привести до істотних економічних втрат і екологічної катастрофи.

В даний час рекомендації щодо визначення навантажень при сейсмічних впливах регламентуються вимогами [2]. У національному стандарті [96] викладено методику визначення класу наслідків (відповідальності) об'єктів будівництва і регламентується вибір карт ЗСР-2004 для оцінки сейсмічної небезпеки їх майданчиків. Уточнення сейсмічності майданчиків будівництва, нормативна балльність яких визначається по картах ОСР-2004-В і ОСР-2004-С, а також майданчиків, розташованих поблизу границь зон балльності, виконується обов'язково на основі спеціальних досліджень з сейсмічного мікрорайонування (СМР).

Українськими і зарубіжними вченими виконано порівняльний аналіз сейсмічних впливів на напружено деформований стан відповідальних об'єктів [2, 95]. Землетруси в містах Ніїгата (Японія), Мехіко (Мексика), а також Румунський землетрус та інші показали (рис. 2.20), що максимум динамічного коефіцієнта може зміщатися у бік низьких частот викликаючи на них резонансні явища в ґрунті, що збільшує небезпеку для будівель підвищеної поверховості і для гнучких споруд.

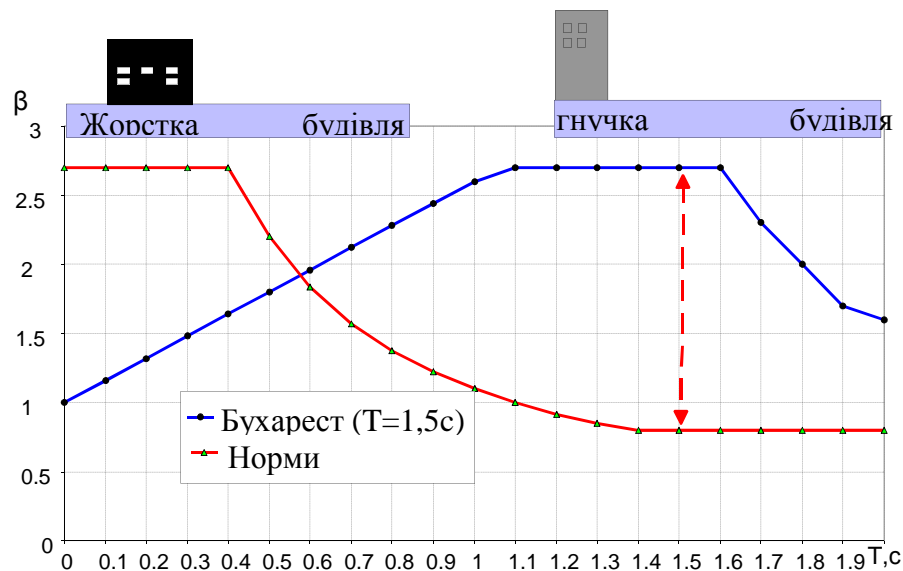


Рисунок 2.20. Динамічний коефіцієнт коливань ґрунту в Бухаресті (1977 рік) при землетрусі із зони Вранча

Існує необхідність підвищення надійності систем життєзабезпечення населення країни і зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій при сейсмічних подіях. Для цього потрібно уточнювати розрахункові параметри сейсмічної небезпеки з врахуванням параметрів сейсмічного режиму, регіональних законів загасання сейсмічних коливань, впливу місцевих ґрунтових і морфологічних умов. Ці значення найнадійніше визначаються за даними інструментальних сейсмологічних спостережень. З метою їх одержання, спільними зусиллями Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, ГП «Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій», Одеського національного морського університету і Української асоціації сейсмостійкого будівництва було створено першу в м. Одесі сейсмологічну станцію.

Ряд чинників ускладнює проектування і будівництво будівель підвищеної поверховості. До них відносяться: близько розташовані розломи, сейсмічна небезпека, несприятливі геологічні умови (в т.ч. ґрунти III, IV категорії за сейсмічними властивостями), підземні виробки (катакомби), зсувні схили, наявність високого рівня ґрунтових вод (підтопленні території).

Ґрунти III, IV категорії за сейсмічними властивостями мають істотні нелінійні властивості, які проявлятимуться по-різному, залежно від інтенсивності і частотного складу сейсмічних впливів. Нелінійна поведінка ґрунту

приводить до зміни, інколи дуже істотної, форм і спектрів сейсмічних хвиль в шарах ґрунту. Резонансні частоти ґрунтів виявляються залежними від інтенсивності впливу і, при досить інтенсивних землетрусах, можуть суттєво відрізнитися від значень, визначених методами реєстрації вибухів, слабких землетрусів і короткоперіодних мікросейсм. При інтенсивних сейсмічних впливах змінюються геологічні властивості ґрунтів, що може бути пов'язане, наприклад, з переміщенням ґрунтових вод, розривом структурних зв'язків між частинками ґрунту та іншими явищами. На рис. 2.21 представлено амплітудно-частотні характеристики ґрунтового середовища визначені для ряду будівельних майданчиків у м. Одесі з використанням програмного продукту *Pr-shake* [114]. У розрахунках враховувалися нелінійні властивості ґрунтів на досліджуваних майданчиках.

З рис. 2.21 видно, що ґрунтові умови більшості будівельних майданчиків Одеси характеризуються широким частотним діапазоном можливого резонансного підсилення. Отже, при сейсмостійкому проектуванні будівель і споруд в Одесі необхідно проводити детальні дослідження резонансних властивостей ґрунтів, незалежно від складності конструкції, оскільки власні частоти коливань, як одноповерхових, так і висотних будівель, як правило, лежать в частотному діапазоні, в якому спостерігаються максимуми посилення коливань ґрунтами майданчиків.

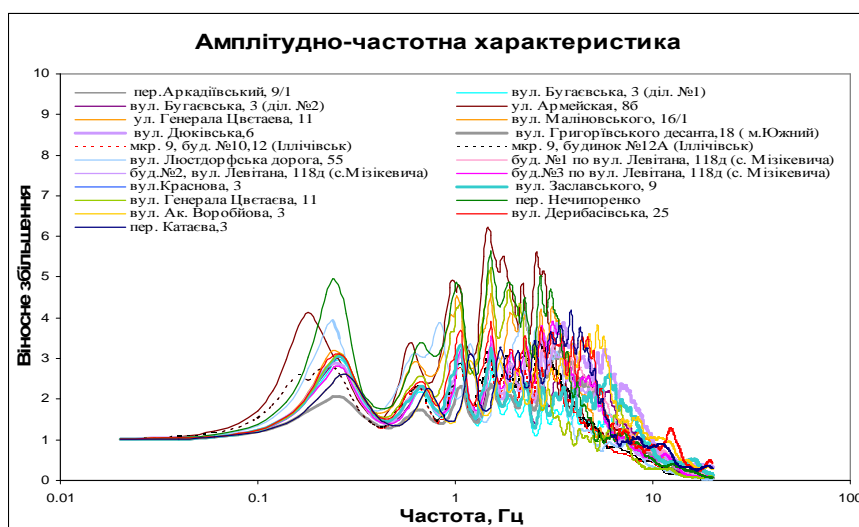


Рисунок 2.21. Амплітудно-частотні характеристики ґрунтів майданчиків в м. Одеса

З введенням в дію ДБН В.1.1-12:2014 [2] змінилися вимоги до проектування і будівництва будівель підвищеної поверховості, у порівнянні з вимогами ДБН В.1.1-12:2006 [95]:

- обов'язковою стала вимога про врахування перших двох форм власних коливань будівлі;

- введено поняття (слабкий землетрус (СЗ), проектний землетрус (ПЗ), максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ) і розмежовані сейсмічні навантаження, використовувані для проектування споруджень різних класів наслідків;

- розмежовано вживання карт ЗСР для будов різних класів наслідків. Рішення про вибір карти при проектуванні конкретного об'єкту і віднесення об'єкту до класу наслідків (відповідальності) приймається генеральним проєктувальником відповідно до ДСТУ-Н.В.1.2-16:2013 [96] і узгоджується із замовником.

При проектуванні об'єктів класу наслідків СС1 і СС2, для визначення розрахункової сейсмічної інтенсивності, необхідно використовувати карту ОСР-2004-А. При проектуванні житлових і суспільних будинків висотою понад 73,5м - кодів і об'єктів, які віднесені до потенційно небезпечним, але не ідентифікованим як об'єкт підвищеної небезпеки, рекомендується використовувати карту ОСР-2004-В. При проектуванні об'єктів класу наслідків СС3, для визначення розрахункової сейсмічної інтенсивності, потрібно використовувати карту ОСР-2004-С:

- додано новий розрахунок споруд на сейсмічні впливи «Нелінійний статичний розрахунок»;

- – знижено коефіцієнт поверховості, використовуваний при розрахунку сейсмічного навантаження;

- –додано графіки коефіцієнтів динамічності для будівель з різною величиною коефіцієнтів податливості, використання яких дозволяє понизити величину сейсмічного навантаження;

- –вперше введено розділ «Проектування систем сейсмоізоляції будівель»;
- –вперше введено розділ «Схили», де приведено основні вимоги до розрахунку схилів.

У вказаних нормах відмічено як необхідні для проектування будівель і споруд на сейсмонебезпечних територіях наступні геофізичні дані:

- інформація про величину, тривалість, спектральний склад і переважаючі періоди коливання ґрунтів для виключення можливих резонансних ефектів;
- швидкість проходження сейсмічної хвилі під майданчиком проєктованого будівництва;
- розрахункові акселерограмми, що враховують вплив потенційно небезпечних сейсмоактивних зон і ґрунтових умов майданчика проєктованого будівництва.

Для визначення кількісних характеристик сейсмічної небезпеки будівельного майданчика необхідно виконати такі роботи:

- сейсмічне мікрорайонування (СМР) майданчика методом інженерно-геологічних аналогій;
- формування моделей будови геологічного середовища на виділених ділянках (таксонах) за результатами проведення інженерно-геологічних досліджень під будівництво [4], побудова карти СМР по методу інженерно-геологічних аналогій;
- вибір еталонного пункту в районі розташування об'єкту, визначення для нього таких параметрів геологічного середовища, як розподіл літологічного складу ґрунтів з глибиною і їх фізико-механічних властивостей: швидкості подовжніх і поперечних хвиль, густини, пористості, характеристик загасання сейсмічних коливань з відстанню;
- уточнення параметрів проектного (ПЗ) і максимального розрахункового (МРЗ) землетрусів з місцевих потенційно сейсмоактивних зон і сейсмо-

активної зони Вранча на еталонному пункті в районі досліджуваного майданчика;

–СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей, побудова карти СМР майданчика за результатами вивчення майданчика методами геологічних аналогій і сейсмічних жорсткостей;

–організація і проведення польових інструментальних сейсмологічних спостережень з метою реєстрації високочастотних мікросейсм (землетрусів і вибухів), як найбільш надійної основи для розрахунку приросту сейсмічної бальності, обумовленої конкретними ґрунтовими умовами майданчиків розташування об'єкту, побудови розрахункових акселерограмм і спектрів реакції;

–визначення приростів сейсмічної бальності для кожної з виділених на досліджуваному майданчику таксонометричних одиниць (таксонів) і побудова карти СМР майданчика за результатами трьох методів: інженерно-геологічних аналогій, сейсмічних жорсткостей і методу реєстрації землетрусів, вибухів, і короткоперіодних мікросейсм;

–визначення для кожного з таксонов розподілу літологічного складу ґрунтів з глибиною та їх фізико-механічних властивостей: швидкості подовжених і поперечних хвиль, густини, пористості та характеристик загасання сейсмічних коливань з відстанню;

–побудова для кожного з виділених таксонов розрахункових моделей ґрунтових комплексів, з врахуванням результатів СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей та матеріалів інженерно-геологічних досліджень, проведених згідно вимог ДБН А.2.1-1-2014 [2];

–розрахунок теоретичних частотних характеристик моделей ґрунтів для таксонометричних одиниць, виділених на майданчику за комплексом результатів трьох методів СМР;

–визначення емпіричних частотних характеристик ґрунтових комплексів під різними ділянками (таксонами) досліджуваного майданчика за матеріалами реєстрації землетрусів, вибухів і короткоперіодних мікросейсм;

–побудова ансамблю розрахункових акселерограмм і спектрів реакції для ПЗ і МРЗ із зони Вранча і локальних потенційно сейсмоактивних зон, з врахуванням емпіричних і теоретичних частотних характеристик ґрунтових комплексів під виділеними на майданчику таксонами.

На рис. 2.22 наведено приклад двох реалізацій трикомпонентних розрахункових акселерограмм, побудованих для будівельного майданчика в м. Одеса.

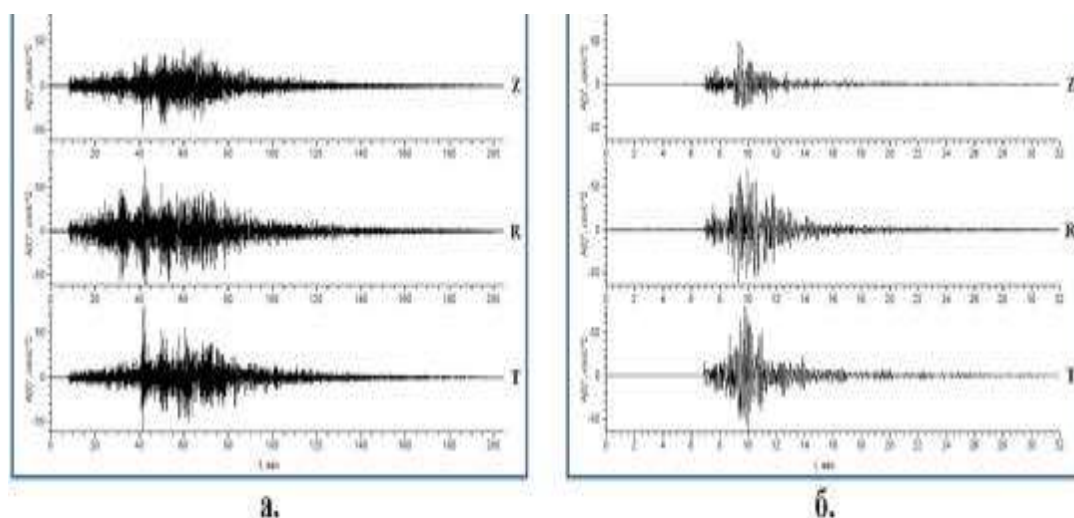


Рисунок. 2.22. Графіки трикомпонентних розрахункових акселерограмм: а – із зони Вранча, б – з локальної зони.

Роботи по СМР покликані не лише визначити значення приросту сейсмічної небезпеки (балльності) на будівельному майданчику за рахунок впливу її ґрунтових умов. Отримані дані відкривають можливість суттєвого здешевлення сейсмостійкого будівництва за рахунок оптимального вибору конструктивних рішень, які дозволяють уникнути збігу переважаючих частот, які відповідають піковим прискоренням в сейсмічних хвилях, резонансних частот підстилаючої ґрунтової товщі і власних частот проектованої будівлі (споруди).

При генеруванні розрахункових акселерограмм використовуються різні комбінації теоретичних обвідних спектрів розрахункових акселерограмм, нормованих частотних характеристик середовища і фазових спектрів, отриманих по різних записах реальних подкорових землетрусів із зони Вранча і

землетрусів з близьких сейсмоактивних зон, модифікованих з врахуванням умов майданчика.



Рисунок. 2.23. Послідовність визначення розрахункової сейсмічності майданчику

2.4.1 Рекомендацій з використання розрахункових акселерограм

Прямі динамічні розрахунки будівель і споруд слід виконувати з використанням розрахункових акселерограм $a_i(t) = A_i y_i(t)$, где i - признак складової вектора коливань; A_i - максимальне значення амплітуди прискорень; $y(t)$ - нормована на одиницю функція, що описує коливання ґрунту в часі.

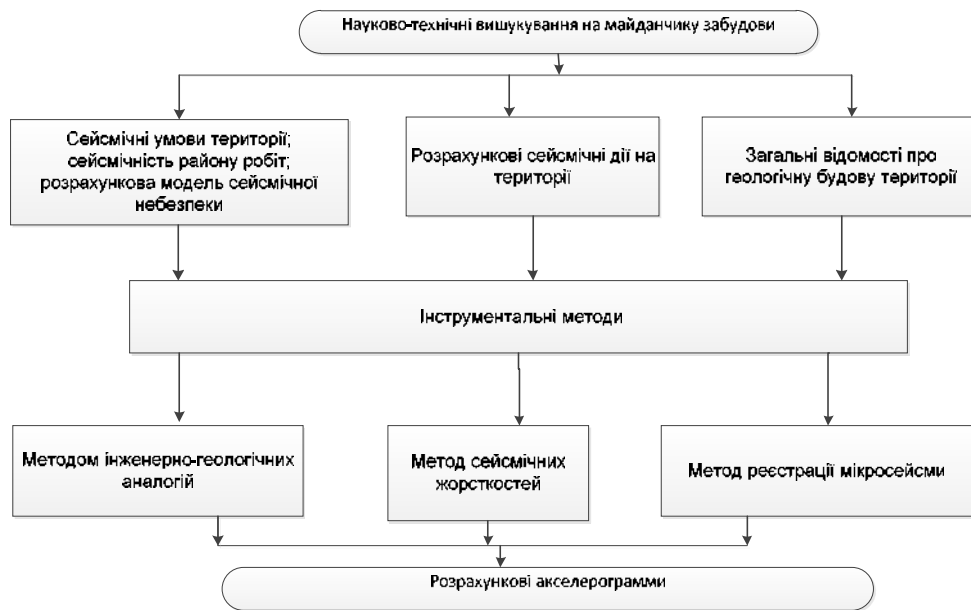


Рисунок. 2.24. Науково-технічні вишукування на майданчику забудови

При проектуванні особливо важливих об'єктів в прямих динамічних розрахунках належить використовувати розрахункові акселерограми, побудовані для заданої ймовірності неперевикнення максимальних сейсмічних впливів, що відповідає картам ЗСР. Розрахункові акселерограми будуються на основі інструментальних записів сильних і проміжних за величиною землетрусів, зареєстрованих безпосередньо на будівельному майданчику, або в умовах, близьких до умов майданчика. Величини A_i в цьому випадку визначаються за допомогою робіт з уточнення сейсмічної небезпеки майданчика.

При проектуванні нетипових і відповідальних будівель і споруд у прямих динамічних розрахунках допускається використовувати синтезовані розрахункові акселерограми, побудовані з урахуванням умов майданчика.

При відсутності інструментальних записів для генерації розрахункових акселерограм можуть використовуватися розрахункові методи і дані щодо проросту сейсмічної бальності за рахунок впливу місцевих ґрунтових умов майданчика, отримані при проведенні його сейсмічного мікрорайонування.

При проектуванні будинків і споруд, не прив'язаних до конкретного майданчика, в прямих динамічних розрахунках рекомендується застосовувати пакет трикомпонентних синтезованих акселерограм, які були побудовані на основі записів коливань ґрунтів, зареєстрованих в різних регіонах України за допомогою цифрових сейсмостанцій.

При виконанні прямих динамічних розрахунків будівель і споруд амплітуди синтезованих акселерограм необхідно множити на мас-штабний коефіцієнт K , величина якого залежить від сейсмічності майданчика.

Максимальні значення прискорень відносяться до горизонтальних складових коливань. При відсутності інструментальних записів значення вертикальних прискорень основи допускається приймати рівними 0,7 від значень горизонтальних прискорень.

При проведенні прямих динамічних розрахунків із використанням набору синтезованих акселерограм необхідно в якості розрахункових приймати ті, у яких періоди з переважаючими по амплітуді коливаннями, є близькими до періодів власних коливань будівель за першою формою.

Рекомендації щодо вибору розрахункових акселерограм повинні враховувати їх відповідність для конкретного майданчика за основними сейсмологічними параметрами:

- магнітудою;
- епіцентральною відстанню;
- глибиною і механізмом вогнища;
- ґрунтовими умовами майданчика тощо.

Значення сейсмічних навантажень, переміщень і деформацій конструкцій слід визначати з урахуванням особливостей нелінійного деформування конструкцій.

У разі роздільного використання у розрахунках будівель і споруд на сейсмічні впливи горизонтальних і вертикальних компонент акселерограм належить приймати найбільш небезпечні напрямки сейсмічних впливів.

Прямі динамічні розрахунки будівель із системами сейсмоізоляції, з адаптивними системами сейсмозахисту (що включаються і виключаються), динамічними гасителями коливань, демпферуючими пристроями та іншими сейсмозахисними елементами слід виконувати при науковому супроводі та за участю організацій, що мають ліцензію на виконання такого виду робіт.

2.5 Апаратура і методика польових досліджень



Рис. 2.25 Загальний вид сеймостанції «Одеса-Місто» в ОНМУ.

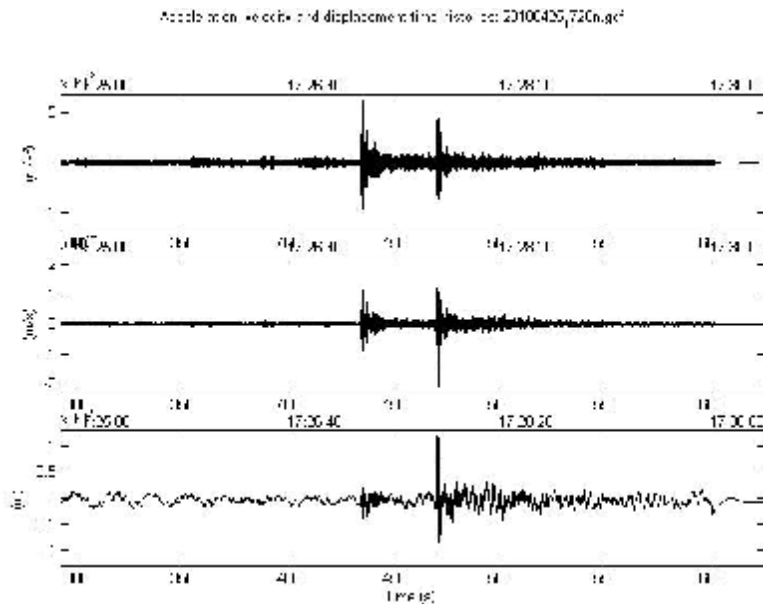


Рис. 2.26 Запис землетрусу із зони Вранча на стації «Одеса-місто»

Запис мікросейсм виконувалася двома трьохканальними цифровими сейсмічними станціями Das-05, останніми з модельного ряду автоматичних сейсмостанцій, виготовлених в Інституті геофізики НАН України]. Як сейсморейсмачі використовувалися СМ-3КВ(див.рис. 3).



Рис. 2.27 Сейсмічна станція«DAS-05»

Сейсмічна станція «DAS-05»забезпечує:

- реєстрацію повного вектора сейсмічних коливань вдинамічному діапазоні не менше 140 дБ;
- частоту реєстрації вимірюваної інформації в межах 0,012÷100 Гц;

- синхронізацію зареєстрованих сигналів з еталонним часом по Грінвічу з точністю не менше ніж 0,1 мс;
- відносну погрішність вмонтованого годинника не вище 10-7 с;
- регулярну корекцію вмонтованого годинника радіосигналами точного часу, отриманими від супутникового gps-приймача;
- можливість роботи з автоматичним перемиканням як від електромережі 220 В, так і від акумуляторної батареї (12÷24 В);
- контроль енергоємності і автоматичне заряджання акумуляторної батареї у режимі роботи від електромережі;
- вжиток електроенергії в режимі чекання не більший 10 ватт;
- термін автономної роботи апаратури від акумуляторних батарей не менше 24 годин;
- калібрування сейсмічних каналів (передбачена можливість визначення амплітуд-ний і фазовою частотних характеристик сейсмічних каналів з точністю до 5% в частотному діапазоні 0,01 до 50 Гц) дозволяє отримати інформацію, яка необхідна для визначення дійсних значень прискорення, швидкості або зсуву в зареєстрованих коливань.



Рисунок 2.28 Структурна схема сейсмічної станції «DAS-05»
 Амплітудно-частотна характеристика цифрової сейсмічної станції розрахована генераторним способом за спеціальною програмою. Зареєстровані

сейсмічні сигнали мають розмірність одиниць аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифрова форма запису дозволяє за допомогою методів регуляризованого числового рішення зворотної задачі сейсмометрії перейти до “дійсного” вигляду коливань. Для цього використовують частотні характеристики (ЧХ) реєструючих каналів. Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики вимірювальних каналів приведені на рис.5.

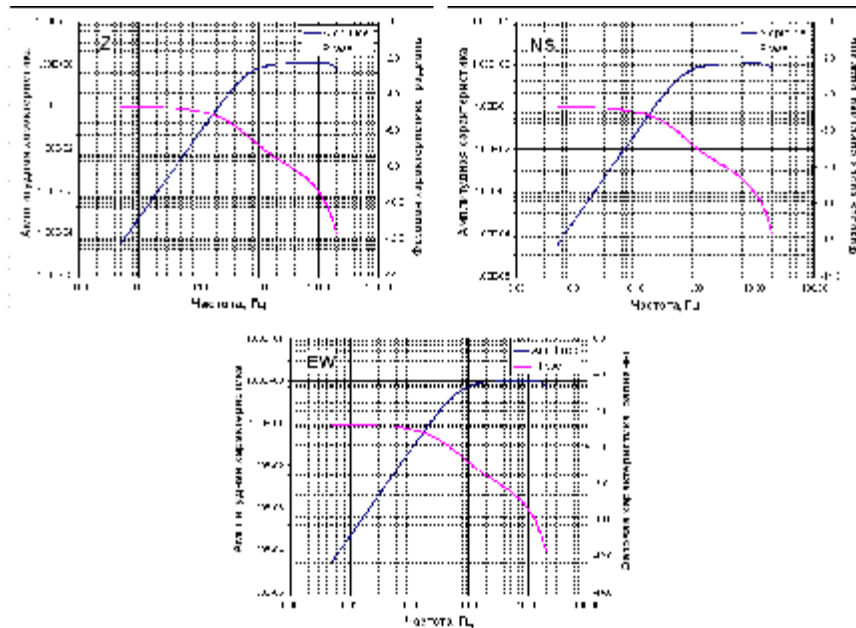


Рис. 2.29 Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики вертикального (Z) і двох горизонтальних (NS і EW) вимірювальних каналів автоматичного сейсмометра DAS-05.

Висновки по розділу 2

1. Проаналізовано основні підходи до проведення СМР. Перший підхід відноситься до моделювання геологічного середовища і синтезу акселерограм і спектрів реакції для проектувальників будівель і споруд. Другий підхід полягає в апаратурних дослідженнях і вимірах з метою уточнення інтенсивності коливань в умовах конкретних майданчиків. Запропоновано практичний підхід до уточнення прогнозованої сейсмічної інтенсивності (балльності) будівельних майданчиків з урахуванням результатів ДСР і СМР.

2. Розроблено напівемпіричну методику побудови розрахункових акселерограм, яка базується на максимальному використанні інформації, що міститься в акселерограмах землетрусів з місцевих вогнищевих зон і землетрусів зони Вранча, зареєстрованих в місті Одеса.

3. Виконано інтерпретацію даних інструментальних спостережень методом сейсмічних жорсткостей. Проаналізовано вплив локальних інженерно-геологічних умов на будівельних майданчиках Одеського регіону.

4. Показано, що сейсмостійкість будівель значною мірою залежить від їх конфігурації, розташування і типу конструктивних елементів, особливостей просторової деформації споруд, скінченної швидкості проходження сейсмічних хвиль під будівлями в умовах реальних сейсмічних впливів.

5. За допомогою теоретичного моделювання сейсмічних впливів і чисельних експериментів встановлено, що нерівномірності поля коливань ґрунту, фільтрація сейсмічних хвиль геологічним середовищем і виникнення резонансних коливань в спорудах при сильних подкорових землетрусах зони Вранча можуть привести до збільшення сейсмічних навантажень у декілька разів.

6. Запропоновано рекомендацію, згідно якої уточнення сейсмічності майданчиків будівництва, нормативна балльність яких визначається по картах ОСР-2004-В і ОСР-2004-С, а також майданчиків, розташованих поблизу границь зміни балльності, повинно виконуватися на основі сейсмічного мікрорайонування.

7. Доведено, що побудовані, з врахуванням результатів сейсмічного мікрорайонування, розрахункові акселерограмми і спектри реакції відкривають можливість істотного здешевлення сейсмостійкого будівництва за рахунок оптимального вибору конструктивних рішень, які дозволяють уникнути збігу переважаючих частот, що відповідають піковим прискоренням в сейсмічних хвилях, резонансних частот підстилаючої ґрунтової товщі і власних частот проектованої будівлі (споруди), із збереженням необхідної надійності особливо відповідальних споруд.

8. Розроблено рекомендації з побудови та використання розрахункових акселерограм для забезпечення сейсмостійкості будівель і споруд в умовах України.

Матеріали розділу опубліковані в роботах [3,5,6,20]