

МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ВИРІШЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОБЛЕМ СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Кривошеєв П.І., Сенаторов В.М., Козелецький П.М.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Автори наводять інформацію про діяльність міжнародних організацій в області сейсмостійкого будівництва.

АННОТАЦИЯ: Авторы приводят информацию о деятельности международных организаций в области сейсмостойкого строительства.

ABSTRACT: Authors present information deals with action on the International organizations in field of anti-seismic construction.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: IAEE, EAEE, *fib*, ISSMGE, сейсмічна безпека.

Землетруси – одні із найбільш небезпечних та вразливих природних явищ на планеті, пов'язаних з руйнуваннями будівельних об'єктів та інфраструктури, а також величезними людськими жертвами. Обширна інформація та глибокий аналіз сейсмічних подій та їх наслідків в світі та в Україні наведена в фундаментальній монографії професора Немчинова Ю.І. [1] Це визначає високу актуальність всебічного вивчення причин цього явища, його розповсюдження, небезпечних впливів та руйнівних навантажень на об'єкти.

В зв'язку з цим дуже важливим є вивчення всіх чинників, які впливають на розповсюдження сейсмічних навантажень, сейсморайонування і в кінці кінців – на безпеку будівельних об'єктів. Перш за все це відноситься до розповсюдження впливів сейсмічних подій на доквілля. В цьому аспекті найбільш важливе значення мають як структура земної кори, так і ґрунтові умови в районах будівництва, в т.ч. просідаючі ґрунти,

зсувонебезпечні ділянки, карсти, а також наявність геотехнічних споруд (підземних виробок, тунелів, катакомб та ін.).

З другого боку, велике значення мають технічні рішення будівельних об'єктів та споруд як в архітектурно-планувальному аспекті, так і у виборі раціональних конструкцій. Щодо конструктивних рішень уже існуючих будівель, то велике значення має врахування їх старіння, зношеність та залишковий ресурс.

Вивчення всіх цих аспектів є комплексною проблемою забезпечення надійності існуючих та споруджуваних об'єктів, а в кінцевому результаті – вдосконалення нормативної бази.

Велику увагу сейсмічній безпеці в будівництві приділяється міжнародними організаціями. Перш за все, це **Міжнародна асоціація інженерної сейсмології (IAEE; www.iaee.or.jp)**, яка в значній мірі відслідковує геофізичні проблеми. Метою діяльності IAEE є просування міжнародної взаємодії серед науковців та інженерів в області сейсмостійкого будівництва завдяки обміну знаннями, ідеями та результатами наукових досліджень і практичного досвіду. Ця мета досягається за рахунок проведення всесвітніх конференцій з проблем сейсмостійкого будівництва кожні чотири роки.

По друге - **Європейська асоціація сейсмології (EAEE; www.eaee.boun.edu.tr)**. Основними цілями діяльності EAEE є сприяння регіональним зв'язкам між науковцями та інженерами в області сейсмології і розповсюдження результатів дослідження в області сейсмостійкого будівництва. Ця мета досягається в основному за рахунок:

- проведення Європейських конференцій кожні 4 роки; щорічного проведення регіональних семінарів для молодих вчених та інженерів;
- обміну інформацією, даними та знаннями для формування баз даних;
- видання публікацій, технічних звітів і наукового журналу в області сейсмології.

В структурі асоціації функціонують 9 робочих груп, які організують всю цю роботу.

Більш конкретні тематичні питання сейсмічної безпеки об'єктів, споруд та територій відслідковуються **Міжнародною федерацією залізобетону (fib; www.fib-international.org)** по конструктивним рішенням і **Міжнародним товариством механіки ґрунтів і геотехніки (ISSMGE; www.issmge.org)** по геотехнічним проблемам.

Ці організації мають в своєму складі відповідні фахові структури, видають тематичні журнали та бюлетені, проводять міжнародні заходи (конгреси, конференції, симпозіуми, тощо). Україна має свої національні осередки по всім напрямам, представлена в керівних органах цих органі-

зацій і приймає участь в міжнародних та в багатьох регіональних заходах, а також отримує значний масив інформації і матеріалів.

На сьогодні надважливою задачею є використання міжнародного досвіду в національній практиці в широкому спектрі проблем, в т.ч. особливо в комплексній проблемі сейсмічної безпеки будівельних об'єктів.

Мета цієї статті - привернути уваги фахівців до міжнародних матеріалів, та узагальнень в області конструкцій та геотехніки, які відносяться до сейсмічної безпеки.

В Міжнародну федерацію залізобетону (*fib*) входить понад 40 країн світу. Свою діяльність *fib* здійснює за допомогою 10 технічних комісій. Серед них чільне місце займає комісія 7 «Сейсмостійке проектування» в складі трьох дослідницьких груп:

- група 7.5 – Сейсмічне проектування будинків із застосуванням високоефективних матеріалів;
- група 7.6 – Критичне порівняння основних сейсмічних норм для проектування будинків;
- група 7.7 – Сейсмостійке проектування будинків на основі імовірного підходу.

При цьому розглядаються проблеми пошуку нових підходів для проектування сейсмостійких залізобетонних конструкцій та підвищення сейсмічної безпеки існуючих будівель і споруд, а також шляхи удосконалення нормативних документів.

Федерацією *fib* регулярно декілька разів на рік видаються тематичні бюлетені. Із загальної кількості бюлетенів (73) шість присвячені проблемам сейсмостійкого будівництва. [2]

В одному з бюлетенів №24 «Оцінка сейсмічності і доробка залізобетонних будинків» оприлюднені фундаментальні матеріали про відновлення залізобетонних будинків на основі сейсмічної оцінки його доцільності. При цьому, поряд з розглядом конкретних конструктивних рішень та технології їх відновлення надається аналіз соціально-економічних проблем, які виникають при цих діях. Приведені також реальні приклади відновлення будинків в сейсмічних зонах Туреччини та Греції.

В бюлетені № 35 «Вдосконалення бетонних конструкцій фіброполімерами (з акцентом на сейсмічні умови)» надані більш конкретні матеріали про відновлення сейсмостійкості залізобетонних конструкцій з застосуванням фіброполімерів.

Бюлетень № 25 «Сейсмічне проектування залізобетонних будинків на базі зміщення. Звіт щодо сучасного стану» містить матеріали та рекомендації проектування сейсмостійких залізобетонних будинків з врахуванням зсуву ґрунтів основи при землетрусах та наслідків зміщення конструкцій. Наведені також приклади застосування проектних процедур на основі аналізу деформації конструкцій.

Сейсмічне проектування збірних залізобетонних конструкцій висвітлено в бюлетені № 27 «Сейсмічне проектування збірних бетонних будівельних конструкцій» на базі узагальнення досвіду семи країн із сейсмічно небезпечних регіонів світу. Наданий систематизований аналіз особливих методів з'єднання збірних елементів ферм, стін, діафрагм та ін. Іншими важливими являються наведені дані щодо попередніх землетрусів, особливостей збірного будівництва в сейсмічних умовах, антигравітаційних систем, фундаментів та ін.

Один із бюлетенів (№39 «Сейсмічне проектування та модернізація мосту – конструктивні рішення») присвячений сейсмічному проектуванню, відновленню моста і засобам підсилення конструкцій ґрунтових основ.

Матеріали цього Бюлетеня можуть бути використані при відбудові мостових споруд в зоні проведення антитерористичної операції.

Назва бюлетеню № 69 «Критичне порівняння основних сейсмічних норм для будівель» говорить сама за себе.

Доцільно зупинитись також на прикладі проблем сейсмостійкості конструкцій та споруд, які аналізувались на останньому Четвертому Міжнародному конгресі *fib*, який відбувся 10-14 лютого 2014 року в Індії (м. Мумбаї), на якому розглядались стан та перспективи розвитку залізобетонних конструкцій в світі [3].



Рис. 1. Керівники конгресу з традиційною «лампою знань» - символом конгресів *fib*: R.K. Sanan, S.S. Rathore, C.R. Alimchandani, V.N. Heggade, S.G. Joglekar, Harald S. Müller, Ashok Basa, György L. Balázs, Gordon Clark

В роботі конгресу взяли участь понад 2000 учасників із майже 100 країн світу, та було представлено 250 доповідей. Від України в матеріалах конгресу були представлені та опубліковані чотири доповіді. Із дванадцяти секцій конгресу одна була цілком присвячена різним проблемам сейсмостійкості залізобетонних конструкцій та будівель.

В матеріалах конгресу в рамках секції №7 «Інженерія землетрусу (загальні аспекти)» опубліковано вісім доповідей. Одна доповідь від України - групи авторів з ДП НДІБК - присвячена експериментальним та теоретичним оцінкам залізобетонних конструкцій будинків при сейсмічних впливах промислового характеру.

В доповіді грецьких фахівців приведені узагальнення щодо чисельних (більш ніж 600) випробувань різних типів залізобетонних стінових конструкцій на циклічні навантаження. Ці випробування використовуються для оцінки існуючих та розробки нових розрахункових моделей визначення деформаційних якостей та несучої здатності такого типу конструкцій.

В іншій доповіді від Греції розглянули питання оцінки надійності при сейсмічних навантаженнях каркасних та стіно-каркасних будинків на основі Європейських норм EN-2 та EN-8. Відповідність розрахунків за обох методик задовільна. Разом з тим відповідні підходи за EN-8 надають більш консервативні результати.

В доповіді від Швейцарії оприлюднена математична модель для прогнозування роботи одного із типів з'єднань плит перекриттів з колонами при дії землетрусу з врахуванням навантажень на плити. Розрахункові дослідження підтверджені результатами випробувань, які висвітлені в наявних публікаціях.

В двох доповідях німецьких спеціалістів викладені результати досліджень залізобетонних каркасних конструкцій різного типу будинків, запроєктованих не для сейсмостійких умов, з визначенням їх придатності при динамічних навантаженнях від землетрусів. Були застосовані нелінійні методи розрахунку, які дозволили визначити можливості застосування розроблених конструкцій для умов сейсмічних впливів. Результати математичних досліджень були підтверджені даними експериментів.

В одній із доповідей індійських фахівців також приведена інформація щодо оцінки ефективності підсилення не сейсмостійких будинків з цегляними стінами та залізобетонним каркасом.

Одна із доповідей із Індії присвячена аналізу спрощених методів європейських та американських стандартів для застосування в проектах високої сейсмостійкості. В Індії (як, власне, і в ряді регіонів України) є сейсмічні зони. Потрібна була переоцінка надійності будівельних об'єктів в цих зонах. В зв'язку з цим на прикладі двох будинків в різних зонах була

проведена оцінка та вибір методів застосування сейсмічних розрахунків для існуючих в цих зонах об'єктів.

В цілому інформація, наведена лише в цих матеріалах, показує значний інтерес та напрацювання щодо оцінки сейсмостійкості залізобетонних конструкцій в світовій практиці, що було б доцільно використати у вирішенні аналогічних задач в будівельній галузі України.

Значний інтерес до вирішення сейсмічних проблем є в Міжнародному товаристві по механіці ґрунтів та геотехніці. Згідно до уставу – основною метою ISSMGE є сприяння міжнародному співробітництву інженерів і вчених для розвитку і розповсюдження передових знань в області геотехніки. Для її досягнення товариство періодично провадить міжнародні і регіональні конференції і симпозиуми, здійснює обмін інформацією і співробітництво з іншими асоціаціями, чії цілі співпадають із задачами ISSMGE, розширює свою діяльність за рахунок залучення нових країн-членів і організує роботу своїх технічних комісій. Окрім того товариство видає свій електронний бюлетень, який доступний на сайті цієї організації, і міжнародний журнал «International journal of geoenineering case histories». Сьогодні ISSMGE об'єднує 82 національні геотехнічні товариства з шести континентів.

Зауважимо, що в складі товариства функціонують 30 комісій, серед них чільне місце займає комісія 203 – «Геотехніка землетрусів і пов'язані цим проблеми». Основною метою цієї комісії є розповсюдження інформації, організація конференцій, розробка настанов і рекомендацій, зміцнення зв'язків науки і індустрії за цим науковим напрямом.

Сейсмічні питання в області геотехніки були в полі зору 18 Міжнародної конференції по механіці ґрунтів та геотехніки [4] у Франції (м. Париж – 2013 р.). На цю конференцію було подано 800 доповідей з різних проблемних питань, в т.ч. 4 доповіді від України. Розгляд тематики конференції вівся на пленарному засіданні та на 23 секціях. Значна увага на конференції була приділена сейсмічним проблемам в області геотехніки.



Рис. 2. Відкриття конференції в Палаці конгресів в Парижі

Так, на пленарному засіданні із 10 генеральних та спеціальних доповідей одна була присвячена проблемі взаємодії системи «грунт-фундамент-конструкція» за межами порогу звичайного сейсмічного руйнування. Доповідь підготовлена професором Г. Газетас з Національного технічного університету в м. Афіни (Греція) і узагальнила значний світовий досвід відповідних досліджень та методів розрахунків в такій системі взаємодії, а також приклади реальних об'єктів, в т.ч. мостових конструкцій з фундаментами неглибокого залягання, двоповерхового асиметричного каркасу та реконструйованого триповерхового каркасу. Були зроблені висновки щодо пошуку оптимальних рішень фундаментів різного типу будівельних споруд з врахуванням як небезпечних сейсмічних впливів, так і ефективності врахування взаємодії ґрунтів, фундаментів та конструкцій.

Із всього величезного масиву доповідей на конференції декілька їх десятків відносяться до взаємодії сейсмічних навантажень та геотехнічних рішень. Так, на секції щодо лабораторних та натурних випробувань представлені 8 доповідей, в т.ч. щодо:

- поведінки глиняних ґрунтів при циклічних навантаженнях;
- ущільнення мілко зернистих ґрунтів;
- сейсмічної реакції при надбудові об'єкту на слабких ґрунтах з

врахуванням їх взаємодії з палями.

На секції чисельних методів дослідження представлені матеріали моделювання системи «грунт - конструкція моста» при сейсмічних навантаженнях. Декілька доповідей щодо сейсмічних проблем оприлюднені на секції з проблем фізичного моделювання в геотехніці.

Найбільша кількість доповідей по проблемам сейсміки відноситься до секції «Сейсмічна реакція ґрунтів, фундаментів і геотехнічних споруд на сейсміку», в т.ч. щодо:

- взаємодії ґрунтів, фундаментів та геотехнічних споруд при сейсміці;
- аналітичного визначення сейсмічних впливів при моделюванні випробувань;
- деформації конструкцій при циклічних навантаженнях;
- деформацій багатопверхових будинків при сейсмічних навантаженнях;
- врахування сейсмічних впливів при проектуванні паль;
- низки проблем сейсмічного впливу на роботу стін з врахуванням їх динамічних характеристик;
- проектування сейсмічних ізоляторів.

На інших секціях багато доповідей було присвячено проблемам схилів та зсувів ґрунтів з врахуванням сейсміки. Деякі проблеми сейсмік-

них впливів розглянуті на секціях щодо прибережних споруд, а також збереження історичних пам'яток.

Частина доповідей стосується регіонів з сейсмічною активністю, де враховують вирішення комплексних проблем геотехніки та сейсміки.

В цілому, цей лише частковий аналіз матеріалів діяльності міжнародних товариств показує великий обсяг прикладів комплексного вирішення проблем надійності конструкцій, геотехнічних рішень для будинків та споруд з врахуванням сейсмічних впливів. Багато чого з цих матеріалів може бути використано в нашій національній практиці, в т.ч. при будівництві відповідальних об'єктів, об'єктів будівництва в складних інженерно-геологічних умовах, а також при модернізації існуючих об'єктів масової забудови з врахуванням зношеності будівель та поточного уточнення сейсморайонування та ін. Особливо ці матеріали можуть бути значущі при вирішенні проблем вдосконалення нашої нормативної бази.

Все це спонукає нас до висновку щодо доцільності та необхідності відслідковування і аналізу міжнародного досвіду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений / Ю.И. Немчинов – Киев: ФОП Гудименко С.В., 2008. - 543 с.
2. Сенаторов В.Н. Проблемы сейсмики в изданиях Международной федерации бетона (*fib*) / В.Н.Сенаторов, С.Ю.Дерюга, Д.Г.Бобро // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК. - 2012. – Вип.76. - С. 188-198.
3. The Fourth International *fib* Congress 2014, Mumbai, February 10-14, 2014. “Improving Performance of Concrete Structures”. Proceedings (Summary Papers). Hyderabad: IMC-FIB (India). – 2014. – Vol. 1, 2.
4. Proceedings of the 18-th International Conference on the Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Challenges and Innovations in Geotechnics”. - Paris: Press des Ponts. - 2013. - Vol. 1-4. - 3485 p.

REFERENCES

1. Iu. Nemchynov / Buildings and facility seismic stability / Iu. Nemchynov. – K.: FOP S.Gudyenko, 2008. - 543 p.
2. V.Senatorov. Seismic problems in issues of International federation of concrete (*fib*) / V.Senatorov, S.Deryuga, D.Bobro // Building structures: collection of scient. works. - Kyiv: NIISK. - 2012. – Vol. 76. - P. 188-198.
3. The Fourth International *fib* Congress 2014, Mumbai, February 10-14, 2014. “Improving Performance of Concrete Structures”. Proceedings (Summary Papers). Hyderabad: IMC-FIB (India). – 2014. – Vol. 1, 2.
4. Proceedings of the 18-th International Conference on the Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Challenges and Innovations in Geotechnics”. - Paris: Press des Ponts. -2013. - Vol. 1-4. - 3485 p.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2015 р.