

# ЛЕКЦІЯ 1. МІЦНІСТЬ І КОМФОРТНІСТЬ БУДІВЕЛЬ ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВПЛИВАХ ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ

## ТЕМА 1. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА МІЦНІСТЬ І КОМФОРТНІСТЬ БУДІВЕЛЬ

У проблемі забезпечення безпечної експлуатації будівель і споруд пріоритетними залишаються питання забезпечення необхідної міцності, стійкості та надійності як окремих конструкцій, так і об'єкту в цілому. Хоча ці питання належать до життєзабезпечення кожного будівельного об'єкту, останнім часом особлива увага звертається також на комфортність приміщень в будівлях і спорудах.

Комфортність визначається як сукупність побутових зручностей: облаштованість і затишок жител, громадських установ, засобів сполучення та інших. Нині комфортності житла, робочого місця, транспортного засобу приділяється все більше уваги, цей критерій отримує пріоритет серед інших, які впливають на вибір житла, роботи, автомобіля.

У поняття комфортності входять також відчуття безпеки, спокою, впевненості, зручності. Людина, що знаходиться у квартирі або на робочому місці, повинна відчувати захищеність від негативних чинників зовнішнього середовища, до яких відносяться і динамічні дії на будівлі.

В більшості випадків вібрація, яка створюється різними джерелами, має складний спектр частот, але відрізняється різним розподілом інтенсивності по частотах і різним характером зміни загальної вібраційної енергії в часі. Людина відчуває вібрацію від доль герца до 800 Гц, вібрація високих частот сприймається подібно до ультразвукових коливань, які викликають теплове відчуття.

Сила сприйняття людиною таких механічних коливань залежить від біомеханічної реакції тіла людини, яке є, до певної міри, механічною коливальною системою, яка має власний резонанс і резонанс окремих органів, що і визначає чітку частотну залежність багатьох біологічних ефектів вібрації. Так, напри-

клад, для людини, яка сидить, резонанс тіла, який викликається дією вібрації та проявляється неприємними суб'єктивними відчуттями, настає на частотах 4,6 Гц, для людини, яка стоїть, – на частотах 5,12 Гц. Таким чином, при динамічних діях особливу актуальність мають показники комфортності, які залежать від спектрів частот коливань.

Динамічні дії на будівлі та споруди відносяться до розряду дій, які найбільш складно враховуються при розрахунках будівельних об'єктів на стадіях проектування, зведення, експлуатації і реконструкції. Це пояснюється специфікою динамічної реакції будівель на зовнішні динамічні дії, яка залежить від конструктивних особливостей об'єкту, виду динамічних дій, способу їх урахування при виконанні динамічних розрахунків, прийнятих розрахункових моделей і вживаних методів розрахунків.

Особливий вплив на складність визначення умов комфортності та міцності чинить відсутність загальноприйнятих підходів і методик динамічних розрахунків, наявність яких дозволила б уніфікувати розрахунки будівельних об'єктів при різних видах динамічних дій, у різних умовах і на різних стадіях життєвого циклу будівель і споруд.

Особливістю експлуатації будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах є те, що внаслідок деформацій основи вони отримують нерівномірні осідання, які стають причиною зміни висотного положення несучих конструкцій, їх крену, нерівномірних осідань опорних ділянок, наявності дефектів у вигляді тріщин, сколів, оголення робочої арматури і тому подібних.

У цих випадках міняється характер роботи і реакція несучих конструкцій і споруди в цілому на статичне експлуатаційне навантаження. У тому ж випадку, якщо споруда перебуває під впливом динамічних навантажень навіть незначної інтенсивності, характер роботи конструкцій може істотно змінитися.

При цьому доля динамічних дій в напружено-деформованому стані конструкцій будівель і споруд, як правило, незначна, проте може виявитися критичною, якщо завантаженість конструктивних елементів близька до граничних станів. В цьому випадку динамічні дії здатні вивести будівлю з рівноважного

стану і привести до технічного стану нестійкості і непридатності до нормальної експлуатації.

Отже, одним з основних чинників, що впливають на міцність будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах при динамічних діях, є їх попередньо-деформований стан, який виникає внаслідок нерівномірних деформацій ґрунтових основ. Дослідження впливу цього чинника на роботу будівельних конструкцій будівель і споруд при динамічних діях є однією із задач цієї роботи.

Наступним важливим чинником є характеристика параметрів середовища, через яке передаються динамічні дії на будівлю. Очевидно, що в процесі передачі динамічних дій (від сейсміки, міського транспорту, будівельної техніки і тому подібного) від моделі ґрунтової основи або способу його урахування залежить адекватність загальної моделі і правильність розрахунку. З іншого боку, врахування ґрунтових основ у розрахункових моделях їх взаємодії з будівлями при динамічних діях призводить до необґрунтованого ускладнення цих моделей і обмеження використання стандартних параметрів динамічних розрахунків, наприклад, логарифмічного декременту коливань.

Очевидно також, що для коректного вирішення поставленої задачі потрібно обов'язкове виконання двох умов, а саме:

- використання виключно просторової моделі об'єкту, що досліджується, для отримання повної картини коливань навіть по перших формах, оскільки тільки при такій постановці задачі будуть отримані форми коливань з площини і обертальні, обов'язково присутні при несиметричних структурі об'єкту, навантаженнях, розподілі мас та іншому;

- використання різних динамічних характеристик (наприклад, логарифмічного декременту коливань) для ґрунтового масиву та будівлі в задачах взаємодії будівель з основами, або відмова від моделювання основи та заміна його в розрахункових моделях будівель спеціальними елементами, що моделюють податливість і динамічні реакції.

Якщо перша умова досить легко здійснима, оскільки сучасні програмні комплекси дозволяють розраховувати завдання практично будь-якої розмірності, і правильний результат досягається формуванням моделі, адекватної тій, що описує сам об'єкт, дії на нього і граничні умови, то виконання другої умови викликає певні труднощі.

У сучасних програмних комплексах немає можливості у рамках однієї розрахункової моделі задавати різні динамічні характеристики компонентам системи. При цьому численні дослідження показують важливість участі ґрунтових основ у роботі будівель і споруд на динамічні дії, особливо якщо останні передаються через ґрунт. Заміна ж ґрунтової основи на спеціальні елементи, що враховують його податливість, односторонні зв'язки і інші особливості взаємодії в зоні контакту фундаментів з основами, приводить до втрати масо-інерційних характеристик основи, які в динамічних розрахунках є визначальними.

Нарешті, ще одним чинником, важливість якого недооцінена, є динамічні дії малої інтенсивності від побутової та промислової техніки, в якій використовуються циклічні двигуни (холодильні установки, кондиціонери, витяжки, системи примусової вентиляції, пральні та сушарні машини барабанного типу, центрифуги та інше), ремонтне будівельне обладнання (дрилі, перфоратори, пневмомолотки та інше), що активно використовується при повних або локальних реконструкціях будівель і ремонтах в їхніх приміщеннях.

Звичайно, не можна серйозно говорити про істотний вплив роботи будівельного інструменту на міцність конструкцій і будівлі в цілому, але, по-перше, частотні характеристики роботи будівельного інструменту із-за конструктивних особливостей будівлі та конкретних конструкцій, що піддаються діям, часто потрапляють у діапазони частот, які впливають на комфорт людини в приміщенні і заборонені санітарними нормами. А для будівель, які мають тривалий термін експлуатації (знижені характеристики міцності та жорсткості) та знаходяться в деформованому стані (близькість конструктивних елементів до граничних станів), регулярні динамічні дії навіть малої інтенсивності здатні привести

окремі конструкції та всю будівлю до стану, що кваліфікується як непридатний до нормальної експлуатації.

Чинників, що впливають на міцність і комфортність будівель, значно більша кількість, проте саме наведені вище уявляються найбільш суттєвими для тих будівель і умов їх експлуатації, які є предметом цього дослідження.

## ТЕМА 2. ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА БУДІВЛІ ТА СПОСОБИ ЇХ УРАХУВАННЯ

До динамічних дій, вплив яких на комфортність і роботу конструкцій будівель та споруд розглядається в цьому дослідженні, слід віднести:

- сейсмічні дії;
- динамічну складову вітрового навантаження;
- транспортні дії від надземних і підземних транспортних комунікацій;
- технологічні дії від роботи будівельної техніки при проведенні будівельних робіт поблизу споруд, що експлуатуються (наприклад, забивання паль, ущільнення ґрунту основи важкими трамбовками, вибухові роботи, попереднє замочування просідаючих ґрунтів гідровибухом поблизу міської забудови і тому подібне);

- технологічні дії від будівельного обладнання та інструментів, що використовуються при реконструкціях і ремонтах (наприклад, пробивка отворів у стінах, стінових панелях, плитах перекриттів, демонтаж несучих і самонесучих елементів, заходи, пов'язані з відновленням і підсиленням несучих конструкцій і так далі);

- технологічні дії від побутового і промислового обладнання, яке не відповідає призначенню споруди (промислові кондиціонери, холодильні установки, вентиляційні та компресорні агрегати і тому подібне в будівлях і спорудах при їх перепрофілюванні).

Перші два відносяться до геокліматичних дій, інші можуть бути віднесені до комплексних дій міського середовища, так званої «міської сейсміки». Термін «міська сейсміка» не належить до загальноприйнятих в науково-технічній лексичі, але буде використаний у цій праці для скороченого викладу матеріалів досліджень. Підкреслимо тут, що в досліджуваних задачах можна використовувати не лише терміни «сейсмічні» дії, під якими в теорії коливань розуміються передусім «кінематичні» переміщення частин споруди або конструкції. У дос-

ліджуваних задачах «силова» дія зустрічається дещо рідше, оскільки між джерелом і приймачем коливань майже завжди існує деякий механізм передачі.

Характер взаємодії будівель та споруд з різними видами динамічних навантажень і дій добре ілюструє рис. 1.1.

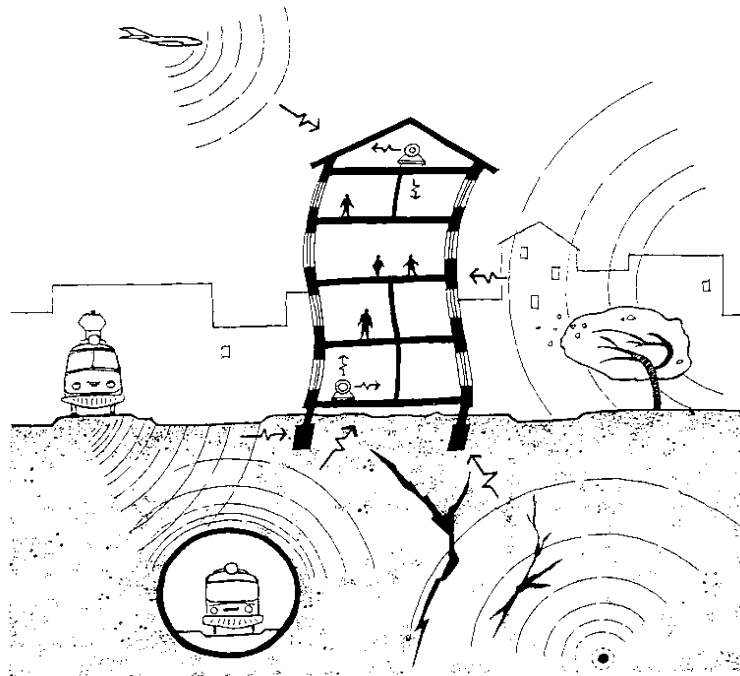


Рисунок 1.1 – Динамічні дії на будівлі та споруди:  
вітер, сейсміка, обладнання, транспорт

Загальні основи динаміки будівель і споруд, а також різних конструкцій, були закладені в роботах І. Ньютона, Ж. Л. Лагранжа, Ж. Л. Д'Аламбера, Д. Бернуллі, О. Коші, Ш. Кулона, Г. Р. Герца, С. П. Тимошенка, Дж. П. Ден-Гартога, О. М. Крилова та інших.

Сучасний етап розвитку теорії динаміки конструкцій будівель і споруд базується на працях М. Ф. Барштейна, В. Л. Бідермана, В. В. Болотіна, М. Г. Бондаря, В. З. Власова, Т. Кармана, Б. Г. Коренева, В. А. Лазаряна, А. Б. Моргаєвського, Г. С. Писаренка, І. М. Рабіновича, А. П. Сініцина, А. Ф. Смірнова, В. І. Феодосєєва та. Методам проведення випробувань конструкцій, а також їх приладовому забезпеченню і метрології присвячені роботи М. М. Аістова, А. Б. Злочевського, Ю. І. Йориша, І. Л. Корчинського, Л. С. Максимова, М. С. Стрілецького, А. Н. Тетіора, І. С. Шейніна,

З. Г. Шульмана та інших, питанням технічної діагностики, у тому числі вібродіагностики, обстеження та ремонту будівель і споруд, моніторингу їх стану – праці М. Д. Бойко, А. С. Золоткова, М. І. Казакевича, В. В. Кулябка, Л. С. Максимова, О. В. Лужина, С. Н. Савіна, І. С. Шейніна та інших.

Теорії та практиці створення, розрахунку, конструювання, дослідження та оптимізації залізобетонних конструкцій, присвячені роботи В. М. Байкова, П. Ф. Дроздова, С. М. Карпенка, І. Е. Прокоповича, М. В. Савицького та інших, особливостям роботи основ, фундаментів та їх взаємодії з верхніми будовами – праці І. М. Балкарея, Д. Д. Баркана, І. П. Бойка, О. С. Горбунова, М. І. Горбунова-Посадова, В. А. Ільчова, С. М. Клепікова, В. І. Крутова, І. В. Матвєєва, О. О. Петракова, О. А. Савінова, А. С. Трегуба, В. Б. Кравця, А. В. Школи та інших.

Питання динамічних розрахунків будівель і споруд розглянуті у роботах Я. М. Айзенберга, А. Н. Бірбраєра, В. М. Дорофєєва, А. В. Забегаєва, М. І. Казакевича, Р. Клафа, В. В. Кулябко, Я. Г. Пановко, Дж. Пензієна, Н. Н. Попова, Б. С. Расторгуєва та інших, у тому числі на вітрові динамічні навантаження – М. І. Казакевича, В. М. Острецова, Е. Сіміу, Р. Сканлана, Г. М. Фоміна, W. H. Melbourne та інших, на сейсмічні навантаження – Дж. Ф. Борджеса, В. Д. Єгупова, Д. В. Єгупова, І. Є. Іцкова, Д. В. Кисельова, Л. Ш. Килимника, Ю. І. Немчинова, С. В. Полякова, С. Ю. Фіалко, T. Paulay, M. J. N. Priestley та інших, по нелінійних коливаннях механічних систем – В. О. Баженова, В. І. Гуляєва, Є. С. Дехтярюка, Е. М. Кваши, В. В. Кулябко, А. І. Маневича, Ю. В. Міхліна та ін., по стійкості, віброзахисту та динамічному гасінню коливань – Д. Вейнера, А. А. Зевіна, В. А. Івовича, В. Г. Подольського, Л. М. Резнікова, А. І. Цейтліна та інших.

Дослідженням взаємодії будівель і споруд з ґрунтовими основами при динамічних впливах присвятили свої праці такі вчені, як Д. С. Абдурашидов, Я. М. Айзенберг, Ю. Д. Амбріашвілі, М. У. Ашимбаєв, В. А. Баранов, Д. Д. Баркан, О. О. Диховічний, Т. Ж. Жунусов, В. А. Ільчов, Б. Д. Карапетян, О. П. Кириллов, В. В. Кулябко, В. М. Ломбардо, В. М. Лятхер, А. А. Мусаелян, А. Г. Назаров, Ю. П. Назаров, М. А. Ніколаєнко, П. Ф. Овчинників, В. С. Пав-



лік, С. В. Поляків, В. Т. Рассказовський, В. Д. Тихоміров, О. М. Уздін, Е. Є. Хачіян, Г. А. Шапіро та інші.

Також проаналізовані роботи вчених, присвячені питанням динаміки будівельних конструкцій, ґрунтових основ і моделюванню їх спільної роботи, а саме О. С. Городецького, Б. П. Гудкова, Б. Г. Демчини, О. С. Дехтяря, Є. С. Дехтярюка, М. Ф. Друкованого, О. О. Диховічного, В. Д. Єгупова, Д. В. Єгупова, В. Г. Кваші, Ю. А. Клімова, М. І. Колякова, Я. М. Кранцфельда, В. А. Кротова, В. С. Кукунаєва, В. В. Кулябко, А. І. Лантух-Лященко, Ю. П. Лінченко, М. Г. Мар'єнкова, П. Г. Мельник-Мельникова, Б. М. Островерха, Є. Ф. Панюкова, В. Г. Піскунова, М. П. Плахтієнко, Г. П. Полякова, А. А. Рассказова, А. М. Рижова, В. Л. Седіна, В. М. Сеймова, О. М. Трофімчука, Г. І. Чорного, В. Г. Шаповала, В. Б. Кравця, А. В. Шимановського, В. С. Шокарева та ін.

Питаннями моделювання роботи будівельних конструкцій при динамічних впливах, особливостями формування розрахункових моделей, можливостями їх аналізу та контролю адекватності систем, що розраховуються, реальним об'єктам займалися В. П. Агапов, В. А. Банах, Л. Г. Батрак, О. С. Городецький, Є. В. Горохов, О. О. Диховічний, І. Д. Євзеров, С. Ф. Клованіч, Е. З. Кріксунов, В. В. Кулябко, А. В. Перельмутер, В. І. Слівкер, Є. Б. Стрелець-Стрелецький та інші.

Проблеми забезпечення комфорту людини в будівлях і спорудах при зведенні, експлуатації та реконструкції, питання віброекології, моніторингу та вібродіагностики розглядалися в роботах Ф. М. Діментберга, Л. Д. Ісаєва, М. І. Казакевича, В. В. Кулябко, Я. Г. Пановко, А. Н. Пшинько, Д. В. Фролова.

При зміні жорсткісних, дисипативних та інерційних властивостей конструкцій будівель і споруд та їх основ, що знаходяться у несприятливих умовах експлуатації, істотно змінюється і динамічна реакція будівельних об'єктів. Це говорить про необхідність створення методик, що дозволяють коректно визначати (розрахунком або безпосереднім виміром), аналізувати, прогнозувати або змінювати ці властивості.

Діагностика та прогнозування динамічної реакції конструкцій стають усе більш актуальними при реконструкції, консервації або розконсервації, модернізації або перепрофілюванні будівельних об'єктів. У цих випадках можуть істотно мінятися умови експлуатації конструкцій, їх основ і фундаментів, зовнішні, особливо технологічні, статичні і динамічні навантаження, а також властивості окремих конструктивних елементів будівель і споруд.

Крім того, в умовах несистемної та безладної реконструкції методи оперативної динамічної діагностики і можливість прогнозування динамічної реакції будівлі дозволять виявити сам факт проведення критичних для будівлі заходів при реконструкції, а також передбачати негативні наслідки таких дій. Еталонну інформацію про динамічні реакції будівлі можна отримати з паспорта будівлі за умови, що динамічна паспортизація була виконана при здачі об'єкту в експлуатацію або в процесі обстеження технічного стану будівлі.

Проте систематичного викладу досить коректних методик теоретичних і експериментальних досліджень, які було б зручно застосовувати для розрахунків, їх аналізу, випробувань і діагностики будівельних об'єктів при динамічних діях, виявити не вдалося. Таким чином, потрібно створити інженерну методику урахування динамічних дій і механізмів їх передачі на будівлі та споруди при виконанні розрахунків з метою забезпечення вимог міцності та комфортності.