

ЛЕКЦІЯ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД З ГРУНТОВИМИ ОСНОВАМИ ПРИ СТАТИЧНИХ ВПЛИВАХ

ТЕМА 5. ВИБІР РОЗРАХУНКОВОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВЗАЄМОДІЇ БУДІВЕЛЬ З ОСНОВАМИ

При розрахунку моделей будівель та споруд незалежно від їх детальності важливим питанням залишається вибір найбільш несприятливої розрахункової ситуації. Це пов'язано з тим, що пошук можливих варіантів несприятливих впливів на будівельні об'єкти, що викликають максимальні деформації та зусилля в їх конструкціях, утруднений через невизначеність прогнозування розвитку негативних процесів у ґрунтових основах. Тому необхідний відносно простий, логічно несуперечливий та досить надійний метод вибору таких ситуацій.

У даному випадку визначення розрахункових ситуацій повинно проводитися на стадії формування розрахункових моделей, оскільки ця процедура, що проводиться при розрахунках з використанням моделей, що базуються на МСЕ, нераціональна, оскільки тягне за собою багаторазово повторювані розрахунки із заданими практично навмання комбінаціями впливів на будівлю або споруду.

Для стадії експлуатації розрахункова ситуація визначена фактичним станом конструкцій, їх висотним становищем і загальними деформаціями системи «будівля (споруда) – основа», і невизначеність зберігається тільки при необхідності прогнозування подальшого впливу зі сторони основи.

Для стадії проектування одним із способів визначення розрахункової ситуації є аналіз проектних та інженерно-геологічних даних, на основі якого складаються схеми розрахункових ситуацій та розраховуються їх параметри залежно від виду ґрунтових умов.

Оскільки при невизначеності в параметрах зовнішніх впливів на будівлю або споруду, які носять імовірнісний характер (наприклад, нерівномірні

деформації основи, сейсміка, аварійні ситуації тощо), прийнято оцінювати несучу здатність, стійкість і міцність їх конструктивних елементів комплексу впливів, що викликають максимальні деформації та зусилля, для визначення найбільш несприятливої для об'єкта розрахункової ситуації можна скористатися авторськими методикою та алгоритмами.

Для вирішення проблеми вибору розрахункової ситуації рекомендується застосування алгоритму, який передбачає завдання спрощеної моделі будівлі або споруди у вигляді плити або системи перехресних балок з можливістю обліку реальної жорсткості введенням матриці жорсткості, отриманої як проміжний результат скінчено-елементного розрахунку. Однак у більшості випадків для визначення впливів основи на будівлю або споруду досить абсолютно жорсткої моделі у вигляді штампуги, що значно скорочує час на підготовку вихідних даних при незначному зниженні точності розрахунку параметрів впливу на об'єкт дослідження з боку основи.

У зв'язку з тим, що алгоритм був розроблений для розрахунку взаємодії будівель і споруд з нерівномірно деформованими основами, спочатку виконується адаптація системи до пошуку найбільш несприятливого варіанту впливу на будівлі. Алгоритмом передбачено облік взаємодії моделі будівлі з основами для випадків звичайних ґрунтових умов, просадних ґрунтів, підроблюваних територій та пальових основ. У цьому реалізованій розрахунок всіх цих типів підстав як у лінійної, і у нелінійної постановці.

Для кожного типу ґрунтових основ існує свій блок визначення найбільш несприятливої ситуації впливу основи на будівлю: для просідаючих ґрунтів – варіювання положення під будівлею або на деякій відстані точкового або лінійного джерела замочування ґрунту та завдання характеристик для ґрунтів основи природного стану та водонасиченого; для підроблюваних територій – варіювання положення під будинком чи певній відстані осі викривлення земної поверхні як мульди чи деформації як уступу; для пальових основ в умовах просідаючих ґрунтів – крім даних для розрахунку просідаючих основ додається урахування додаткового навантаження на палі, викликаного силами негативного

тертя. Варіювання положення осі деформацій ґрунту основи під моделлю будівлі здійснюється у всіх можливих напрямках для визначення найбільш несприятливого варіанту, який і буде прийнятий як розрахункова ситуація для скінчено-елементної моделі.

Як критерії найбільш несприятливої розрахункової ситуації використовуються так звані узагальнені зусилля в перерізах розрахункової моделі (згинальні моменти і поперечні сили), а також величина осідань будівлі у фіксованих точках моделі, причому основними показниками є не абсолютні значення цих осідань, а їх різниця в межах плану будівлі, тобто їхня нерівномірність. При цьому як впливи для скінчено-елементної моделі можуть бути використані як вимушені деформації фіксованих точок контакту будівлі з основою (деформаційні впливи), так і величина реактивного відпору основи (силові впливи). При розрахунку ж детальної моделі взаємодії будівлі з основою, що моделюється об'ємними СЕ, найбільш несприятливий варіант впливу враховується завданням зміни жорстких характеристик елементів основи в зоні, визначеної рекомендованим алгоритмом.

Послідовність дій при реалізації алгоритму визначення розрахункової ситуації для розрахунку моделей будівель та споруд наступна:

- проводиться аналіз інженерно-геологічного розрізу майданчика: визначається нерівномірність потужності та глибини залягання ґрунту, наявність та рівень ґрунтових вод, підстилаючі ґрунти, пошарово визначаються стандартні фізико-механічні характеристики залягаючих ґрунтів (граничний опір, фіксований тиск на ґрунт та осідання основи при фіксованому тиску);

- визначаються характеристики будівлі або споруди, що впливають на основу: вагові характеристики елементів, структура фундаментів, їх площа, тиск під подошвою фундаментів, наведений по вантажній площі до фіксованих точок розрахункової моделі;

- пошарово визначаються граничні значення характеристик основи (граничного опору та осідань при фіксованому тиску) з урахуванням її

ущільнення при дії навантаження від будівлі чи споруди та призводять до середніх значень;

- визначається положення осі зміни характеристик основи у зв'язку з її ущільненням щодо будівлі або споруди;

- визначається крок зміщення цієї осі відповідно до конструктивної схеми і структури об'єкта, і необхідної точності розрахунку.

Отже, підготовка даних зводиться до визначення величин граничного опору стиску ґрунту основи в природному і ущільненому стані, тиску під ділянками подошви фундаментів від сумарного навантаження, включаючи власну вагу, і осідання основи при деякому фіксованому значенні тиску. При цьому розбивка на ділянки розрахункової моделі у вигляді плити кінцевої або нескінченної жорсткості має збігатися з розбивкою на СЕ детальної моделі будівлі, для якої визначається розрахункова ситуація.

Таких варіантів у кожному розрахунку може бути кілька. У результаті розрахунку визначаються для кожної фіксованої точки реактивний відпір основи, яка може бути використана як силова дія, осадка кожної точки моделі, яка використовується для завдання деформаційних впливів з боку основи, вимушена деформація основи, якщо така є, величини узагальнених зусиль – згинального моменту та поперечної сили – для визначення найбільш небезпечних перерізів.

Таким чином, правильний та обґрунтований вибір розрахункової ситуації дозволяє виконати розрахунок будівель та споруд у складних інженерно-геологічних умовах на найнесприятливіший з усіх можливих варіантів впливів з боку ґрунтових основ, що дозволить забезпечити безаварійну експлуатацію об'єкта протягом усього життєвого циклу. При цьому вибір розрахункової ситуації може здійснюватися варіюванням очевидних несприятливих ситуацій або з використанням спеціального алгоритму на основі спрощеної розрахункової моделі будівлі чи споруди.

ТЕМА 6. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Щорічне зростання числа техногенних і природних катастроф, значний знос основних фондів у країні висувають проблему забезпечення безпеки будівель і споруд на перший план. Значну частину існуючих конструктивних систем будівель і споруд складають залізобетонні конструкції з тривалими термінами експлуатації. Традиційне вирішення завдань конструктивної безпеки базується на методі граничних станів. При цьому враховуються різні аспекти деформування та руйнування залізобетону, у тому числі передісторія навантаження, режим силового навантаження, впливу середовища та інші особливості. Тим не менше, вирішення завдань конструктивної безпеки в традиційній постановці вже не відповідає сучасним вимогам, які відносяться до так званих запроектних впливів. Такі впливи часто ведуть до непередбачуваних відмов споруд і, як наслідок, до значної матеріальної шкоди і навіть загибелі людей.

На чутливість конструктивних систем до таких впливів великий вплив надає неоднорідність структури перерізів елементів і самої конструктивної системи, ступінь її статичної невизначеності та інтенсивність армування, рівень попередніх напружень елементів, корозійні пошкодження конструкцій та інші фактори. Аналіз причин виникнення відмов і так званих прогресуючих руйнувань споруд вказують на актуальність і велике практичне значення постановки завдань конструктивної безпеки в ширшій постановці, ніж тільки оцінка граничних станів першої і другої груп. Якщо виходити з сучасної концепції прийняттого ризику і допускати можливість руйнування конструктивних систем при раптових запроектних впливах, то найважливішим показником їх безпеки стає не тільки конструктивна безпека, як характеристика неможливості руйнування несучої системи протягом встановленого проектом періоду експлуатації об'єкта, але й живучість – як характеристика стійкості до

руйнування конструктивної системи або більшої її частини протягом розрахункового евакуаційного проміжку часу.

Така постановка питання вимагає створення методик розрахунку, що забезпечують можливості прогнозування поведінки конструктивних елементів та їх систем при подальшому розвитку негативних процесів у ґрунтових основах.

Результати проведених досліджень показали, що за наявності детальної інформації про поточний технічний стан будівлі можна отримати не тільки достовірні відомості про НДС його конструкцій з урахуванням деформованої схеми, але і можливість прогнозування поведінки будівлі в процесі її подальшої експлуатації.

Крім цього, маючи для об'єкта, розглянутого раніше, результати детальних інженерно-геологічних вишукувань на майданчику розташування будівлі гуртожитку з прогнозованою величиною граничного просідання основи, була виконана серія розрахунків на можливе наростання деформацій просідання. Таким чином, було отримано прогноз зміни НДС елементів будівлі у разі відновлення деформаційних впливів від просідання.

Як показали результати розрахунку, у разі подальшого наростання деформацій просідання, з урахуванням розташування вже наявних просадних воронок, можна прогнозувати утворення наскрізних тріщин у простінках, наростання ширини їх розкриття, а при подальшому збільшенні вигину та нахилу будівлі – можливе руйнування простінків першого поверху у сходових маршів, карниза біля температурного шва, а також кутових ділянок прорізів першого поверху в торцевих стінах.

У той же час, при використанні такої методики, з'являється можливість моделювання так званого життєвого циклу експлуатованої будівлі на підставі інформації, отриманої системами моніторингу його стану. Схема такого моделювання може бути представлена наступною послідовністю:

- створюється максимально детальна просторова модель існуючого будинку, по можливості з урахуванням нелінійної роботи матеріалів

конструкцій, податливістю стиків, одностороннім характером зв'язків конструкцій фундаментів з основою тощо;

- за результатами обстеження будівлі визначаються додаткові впливи на неї за період експлуатації, як деформаційні (крени, перекоси, дефекти), так і силові, на які і виконується розрахунок детальної моделі;

- перевіряється адекватність розрахункової моделі зіставленням результатів натурних спостережень і результатів розрахунку, причому показником достовірності може служити збіг місць розташування дефектів в натурному будинку з місцями в розрахунковій моделі, де досягнуті граничні стани;

- за даними приладового контролю системи моніторингу, встановленої в будівлі (бажано, що вимірює в контрольних точках деформаційні характеристики у вигляді просторових переміщень і кутів повороту), виконується послідовне коригування розрахункової моделі в ручному або автоматизованому режимі з розрахунком параметрів ПДВ кроковим методом з моделюванням деформаційних в дій підстави на будівлю на кожному етапі;

- виконується комплексний аналіз результатів розрахунків з метою виявлення ділянок конструкцій та їх елементів, що працюють в граничному стані, а також розробляються заходи щодо посилення цих елементів і сусідніх конструкцій, куди відбувається перерозподіл зусиль;

- розрахункова модель коригується введенням елементів посилення конструкцій, при цьому обов'язково враховується характер кріплення конструкцій посилення до існуючих елементів, виконується розрахунок;

- складається прогноз подальшої роботи будівлі, визначаються несприятливі ситуації, пов'язані з розвитком деформаційних впливів основи на будинок, виявляються ділянки конструкцій та їх елементів, напруження в яких близькі до граничних, складаються рекомендації щодо посилення цих конструкцій і подальшої безпечної експлуатації будівлі.

Як приклад системи моніторингу стану будівлі можна навести локальну вимірювальну-інформаційну систему «Моніторинг» (спільна розробка ЗО

НДІБК та ТОВ «Геоінжиніринг»). Така система призначена для контролю напрямів та вимірювання кутів нахилу будівельних об'єктів та конструкцій, а також їх відносних осідань. Система виконана на основі індуктивних перетворювачів і електронних блоків, і призначена для віддаленого знімання і передачі інформації через довільно вказані користувачем проміжки часу, що обробляється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Кінцева інформація подається графічно у вигляді просторових векторів зміщення контрольних точок, які, будучи введеними в розрахункову модель, дозволяють коригувати її геометрію в ручному або автоматизованому режимах і підтримувати в стані, відповідному реальному просторовому положенню будівлі.

Крім того, система «Моніторинг» може бути використана для прогнозування впливу нерівномірних деформацій основи (наприклад, при замочуванні просідаючих ґрунтів) на експлуатовані будівлі з можливістю виявлення таких деформацій на початковій стадії та точного визначення параметрів геотехнічних процесів (наприклад, параметрів мульди просідання і розташування джерела замочування для просідаючих ґрунтів, величини уступу або параметрів мульди при підроботці, параметрів укосів на зсувних територіях тощо), і з подальшим моделюванням цих ситуацій.

Ще одна область застосування такої системи – при вирівнюванні будівель і споруд, коли необхідна оперативна інформація про стан будівлі, її деформації та напруження при піддомкращуванні або регульованому осіданні будівлі при перфорації основи або її регульованому замочуванні. Це можливо за допомогою постійного дистанційного вимірювання деформацій конструкцій будівель датчиками, які фіксують кути нахилів, а також зміщення опорних частин конструкцій, та їх подальшої обробки спеціалізованою програмою, що дозволяє автоматично коригувати геометрію розрахункової моделі. У цьому випадку оперативні розрахунки в ході вирівнювання допоможуть забезпечити безаварійність процесу і запобігти місцевому руйнуванню конструкцій.

Таке моделювання життєвого циклу експлуатованих будинків, побудоване на основі регулярно коригованих розрахункових моделей за результатами безперервного моніторингу, представляється на даний момент найбільш перспективним напрямком комплексної оцінки технічного стану будівель, визначення можливості проведення їх реконструкції, забезпечення подальшої надійної та безаварійної тривалої експлуатації.