

ЛЕКЦІЯ 6. ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД З ГРУНТОВИМИ ОСНОВАМИ

ТЕМА 8. СПОСОБИ УРАХУВАННЯ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ В ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЯХ ПРИ РОЗТАШУВАННІ ДЖЕРЕЛА ЗБУРЕННЯ В МЕЖАХ БУДІВЛІ АБО СПОРУДИ

Метою цього дослідження є виявлення та аналіз особливостей роботи на динамічні дії малої інтенсивності будівель, що експлуатуються та що знаходяться у процесі реконструкції, деформованих внаслідок дій нерівномірних осідань основ.

Для правильного урахування динамічних дій малої інтенсивності на конструкції будівлі складається її детальна просторова розрахункова модель із включенням основних конструктивних елементів, причому, на відміну від статичної, в динамічну модель вводяться ненесучі та самонесучі елементи (за умови правильного завдання їх сполучення з несучими конструкціями). При цьому бажано врахувати податливість стиків, фізичну та геометричну нелінійності.

При виконанні локальної реконструкції у будівлі (наприклад, у масштабах одного поверху або однієї квартири), виникає питання про необхідність використання розрахункової моделі усєї будівлі або тільки певного її фрагмента з правильно описаними граничними умовами (закріпленнями, об'єднаннями переміщень та іншим). В цьому випадку можливі різні підходи, пов'язані з необхідністю оцінки впливу динамічних дій тільки на міцність конструкцій, або і на комфортність теж.

Для отримання параметрів напружено-деформованого стану конструкцій виявляється достатнім використання фрагментів розрахункових моделей. При цьому дослідження впливу роботи перфоратора (роботи виконувалися на перекритті житлового будинку на різній відстані від несучих стін) показали, що відхилення амплітудно-частотних характеристик для моделі окремої плити

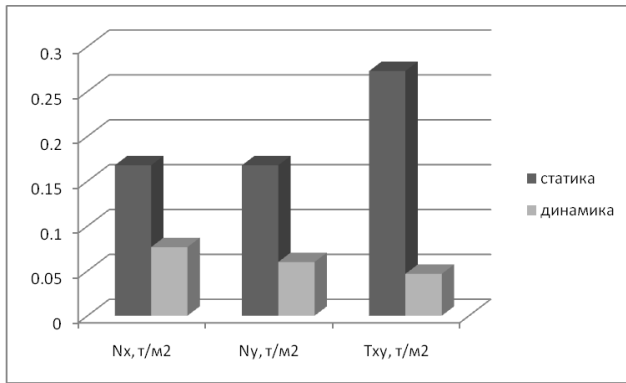
склали при варіюванні місця прикладення динамічної дії 18,6...27,4 %, при включенні в розрахункову модель несучих стін – 3,2...8,8 %, а при завданні сусідніх ділянок плит і стін, на які вони спираються, в межах одного поверху вище і нижче перекриття – 1,7...5,9 %.

Крім того, був проведений аналіз вкладу динамічних дій у характеристики напружено-деформованого стану конструктивних елементів. Результати аналізу приведені на рис. 8.1...8.2.

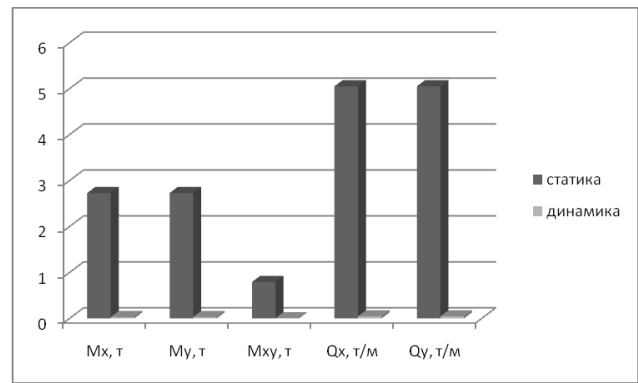
Результати аналізу показують, що напруження у плитах перекриття при динамічних діях малої інтенсивності можуть зрости у діапазоні 17,1...45,6 % у порівнянні зі значеннями від статичного навантаження. Розподілені зусилля (на погонний метр) у плитах змінюються у межах 2 %. Доля динамічної складової у напруженому стані балок перекриття – у межах 11 %, а у колонах зміни практично відсутні (до 1 %).

Таким чином, для деяких видів конструкцій зміна напруженого стану, викликана динамічними діями малої інтенсивності, може виявитися істотною і привести до втрати експлуатаційних якостей будівлі. Особливо це актуально для будівель, деформованих внаслідок нерівномірних деформацій основ у складних інженерно-геологічних умовах. В цьому випадку навіть незначний приріст напружень або зусиль у конструкціях, що знаходяться практично в граничному стані, може привести до їх фактичного руйнування або вичерпання експлуатаційного ресурсу.

Отже, для будівель і споруд, що знаходяться в деформованому стані та піддаються реконструкції, для правильної оцінки впливу на характеристики міцності динамічних дій малої інтенсивності необхідно виконувати розрахунки об'єкту в цілому або його фрагменту із кількісним і якісним аналізом результатів.



а)

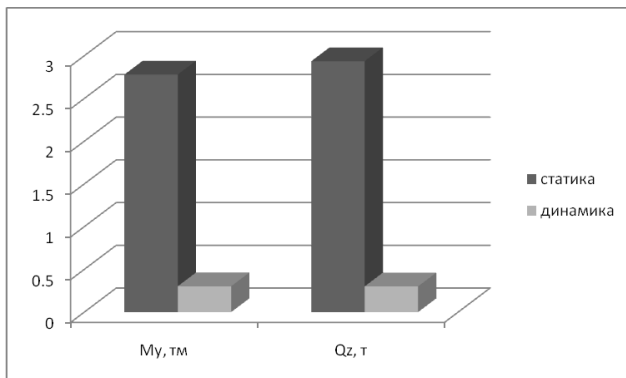


б)

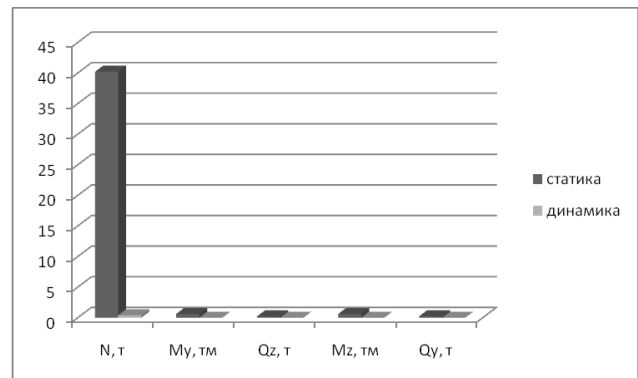
а) напруження;

б) розподілені зусилля.

Рисунок 8.1 – Співвідношення параметрів напруженого стану в елементах плити перекриття від статичних і динамічних навантажень



а)



б)

а) балки;

б) колони.

Рисунок 8.2 – Співвідношення параметрів напруженого стану в стержневих елементах від статичних і динамічних навантажень

При визначенні впливу вібрацій від будівельної техніки і обладнання на організм людини доцільно оперувати повною розрахунковою моделлю досліджуваного об'єкту, оскільки необхідно аналізувати увесь спектр амплітудно-частотних характеристик, як будівлі в цілому, так і окремих його конструкцій, з метою дотримання санітарних норм по частотах, що викликають негативну реакцію людського організму. Дослідження показали, що будівельне

та ремонтне обладнання, що використовується при реконструкції і ремонті будівель, може викликати дії, які є безпечними для будівельних конструкцій, але негативно позначаються на самопочутті людей. Наприклад, при виконанні пробивки отвору у внутрішній стіні п'ятиповерхової цегляної житлової будівлі в м. Запоріжжя, де проводилося обстеження у процесі реконструкції, були зафіксовані «заборонені» частоти на перекритті п'ятого поверху, а застосування віброрейки для укладання бетонної суміші на перекритті над підвалом викликало аналогічну реакцію перекриття четвертого поверху, де були зроблені виміри.

Для дослідження динамічної реакції конструкцій будівлі на дії від технологічного обладнання розглянемо реконструйовану житлову п'ятиповерхову будівлю в м. Запоріжжя за адресою: вул. 40 років Незалежної України, будинок 90а, в якій на першому поверсі після перепрофілювання приміщень розташована пральня-хімчистка, і на перекритті над підвалом встановлено обладнання з циклічними двигунами (частота до 1000 об./хв.). Будівля безкаркасна, зовнішні несучі стіни з силікатної цеглини, внутрішні несучі – з глиняної цеглини, інші – гіпсобетонні, перекриття – збірні залізобетонні багатопустотні плити, фундаменти – стрічкові залізобетонні монолітні, підготовка основи – ґрунтова подушка завтовшки 2,2 м.

Фрагмент розрахункової моделі будівлі включає несучі стіни, перегородки, плити перекриття, конструкції фундаменту. Основа враховувалася спеціальними елементами, що моделюють односторонні пружні зв'язки.

За результатами розрахунку визначені розрахункові сполучення зусиль і головні напруження у несучих конструкціях. Для визначення головних напружень використаний модуль «ЛІТЕРА» ПК «ЛІРА-Windows». Обчислення виконувалися по розрахункових сполученнях зусиль. При цьому використані критерії теорії найбільших головних напружень.

ТЕМА 9. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ «БУДІВЛЯ (СПОРУДА) – ОСНОВА» В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВІДСТАНІ ДО ДЖЕРЕЛА ЗБУРЕННЯ ПРИ ЙОГО РОЗТАШУВАННІ ЗА МЕЖАМИ БУДІВЕЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

До динамічних впливів, що передаються на будівлі та споруди через ґрунтові основи, відносяться:

- сейсмічні впливи, що мають характеристики подовжніх хвиль із-за віддаленості епіцентрів землетрусів у сейсмічних районах;

- динамічні впливи, що передаються через дорожнє покриття та поверхневі шари ґрунту: усі види наземного автомобільного, рейкового та електротранспорту, будівельної техніки, технологічного обладнання поза будівлями;

- динамічні впливи, що передаються через ґрунтові товщі: від підземного транспорту (метро), будівельної техніки ударної дії (наприклад, забивання паль в котлованах, ущільнення ґрунту важкими трамбівками, у тому числі при устрої ґрунтових подушок);

- штучне поліпшення властивостей ґрунтів у складних інженерно-геологічних умовах гідровибухом, вибухові роботи в місцях видобутку корисних копалин і таке інше.

Розрахунок будівель і споруд з урахуванням сейсмічних впливів, які відносяться до випадкових (стохастичних) коливальних процесів, має особливість, яка полягає в тому, що інтенсивність сейсмічного навантаження має прив'язку до земної поверхні, а в розрахункових моделях вона прикладається, як правило, у вузлах, що мають закріплення. Це накладає деякі обмеження на використання моделей з урахуванням основи просторовими СЕ, оскільки в цьому випадку масив обмежений по довжині, ширині та глибині, та має зв'язки на межах фрагменту ґрунтового масиву.

Розрахунки виконуються, в основному, за граничними станами першої групи. У випадках розрахунку будівель, що експлуатуються, коли особливо важливий аналіз деформацій, а також у випадках, обґрунтованих

технологічними вимогами, розрахунок виконується за другою групою граничних станів. Деформації або переміщення, що виникають у конструкціях (спорудах) у процесі коливань, не повинні перевищувати граничні значення деформацій, встановлені вимогами нормативних документів. Так, наприклад, дані ряду землетрусів вказують на велику пошкоджуваність заповнення стін і перегородок не лише при загальних деформаціях будівель, але і при великих перекосах у межах одного поверху. Тому нормуються середні величини граничних перекосів (відношення взаємних переміщень суміжних перекриттів до висоти поверху): для будівель з рамним каркасом і навісними панелями – $1/250$; для будівель з рамно-зв'язковим каркасом, для крупнопанельних будівель і будівель з монолітного залізобетону – $1/400$, що важливо при аналізі результатів розрахунку деформованих будівель.

Оскільки сейсмічні дії можуть мати будь-який напрямок у просторі, то розрахунок виконується з урахуванням двох критеріїв: напрямки можливої сейсмічної дії (орієнтація будівлі відносно найближчих епіцентрів можливих землетрусів) і найгіршого для будівлі напрямку дії (наприклад, напрямок найменшої жорсткості будівлі).

Для будівель і споруд простої геометричної форми розрахункові сейсмічні навантаження приймаються діючими горизонтально у напрямі їх подовжньої та поперечної осей. Дія сейсмічних навантажень у вказаних напрямках враховуються окремо. При розрахунку споруд складної геометричної форми враховуються найбільш небезпечні для цієї конструкції або її елементів напрямки дії сейсмічних навантажень.

Транспортні навантаження, що передаються через дорожнє покриття, характеризуються також горизонтальною дією, яку можна представити як детермінований коливальний процес періодичної дії. При дослідженні передачі таких процесів через ґрунтові основи з використанням скінчено-елементних моделей з'являється можливість перевірки їх адекватності за результатами динамічної діагностики. Таким чином, можливе коригування розрахункових моделей взаємодії будівель з основами для досягнення відповідності динамічної

реакції моделі та реального об'єкту, та наступне їхнє дослідження на предмет досягнення конструкціями граничних станів, аварійних ситуацій, визначення залишкового експлуатаційного ресурсу.

Транспортні динамічні навантаження, що передаються через дорожнє покриття, необхідно досліджувати з точки зору впливу на показники міцності та комфортності будівель, що експлуатуються тривалий час, оскільки вони найуразливіші навіть при невеликій інтенсивності дій.

Проте нині транспортна проблема у великих містах проявляється все гостріше. Враховуючи малу пропускну спроможність центральних частин великих міст і значний приріст кількості транспортних засобів, необхідно вирішувати проблеми розширення вулиць і доріг, улаштування зручних транспортних розв'язок, збільшення кількості транспортних інженерних споруд (мостів, естакад, тунелів), розвитку транспортної інфраструктури тощо. Це зачіпає існуючу міську інфраструктуру та призводить до додаткових і нехарактерних дій на експлуатовані будівлі та споруди.

При цьому, чим більший вік міста, тим жорсткіше обмеження на розширення проїжджих частин вулиць і доріг, проїзд в центральних частинах міста, їх реконструкцію, а також екологічні вимоги. Необхідно також брати до відома негативні аспекти будівництва та експлуатації такого ефективного виду транспорту, як метрополітен, у великих містах – культурно-історичних центрах, де є історична забудова, яка підпадає під дію динамічних навантажень від наземних і підземних транспортних комунікацій. Такі будівлі та споруди, як правило, погано чинять опір динамічним діям і швидко досягають аварійного стану, що повністю неприпустимо для об'єктів, які мають значну історичну цінність і знаходяться під охороною держави.

У багатьох випадках практично єдиним варіантом комплексного вирішення названих вище транспортно-комунікаційних проблем все-таки залишається будівництво метрополітену. І в той же час його зведення – один з найбільш технічно складних, трудомістких і дорогих видів будівництва, яке вимагає величезних сукупних знань і ресурсів. У зв'язку з будівництвом

метрополітену у великих містах нашої країни та за її межами особливу актуальність має проблема захисту від вібрації об'єктів міської забудови.

Аналізуючи досвід експлуатації метро у великих містах, можна зробити висновок про негативний вплив динамічних навантажень від підземних транспортних комунікацій на об'єкти міського середовища. У житлових і громадських будівлях міської забудови виникають небажані механічні коливання, які негативно впливають як на самопочуття людини, так і на загальний стан будівель і споруд, розташованих в безпосередній близькості від тунелів метрополітену. Допустимий рівень коливань споруд, які знаходяться у зоні динамічних дій, визначається фізіологічним впливом коливань на людей (параметри комфортності), несучою здатністю (міцністю, стійкістю та довговічністю) конструкцій, а також технологічними умовами (впливом коливань на виробничі процеси).

При штучному поліпшенні властивостей основ у складних інженерно-геологічних умовах часто використовують улаштування пальових фундаментів із забиванням паль, ґрунтових подушок під фундаменти з ущільненням ґрунту важкими трамбівками та попереднє інтенсивне замочування просідаючих ґрунтів гідровибухом. При цьому динамічні впливи на навколишню забудову також передаються через масив ґрунту, проте у разі гідровибуху вони ближче до сейсмічних, що дозволяє провести деякі аналогії у цих впливах.

Для визначення найбільш достовірного способу передачі на будівлі динамічних навантажень через ґрунтові основи та їх впливу на показники міцності та комфортності, необхідно провести чисельні дослідження різних варіантів розрахункових моделей.

Зазвичай вібрація поширюється як у ґрунті, так і в будівельних конструкціях, з відносно малим згасанням. Тому для кількісного аналізу динамічних навантажень на будівлі в першу чергу необхідно застосовувати обґрунтовані розрахункові моделі, що враховують як конструктивні особливості будівлі, так і особливості передачі динамічних впливів на її конструкції.

Як об'єкт моделювання передачі через ґрунт динамічних впливів на споруду, в безпосередній близькості від якої виконується забивання паль, і яка розташована поблизу завантаженої транспортної магістралі, розглянемо житлову будівлю в м. Запоріжжя за адресою: пр. Соборний, 185.

Житловий 5-поверховий будинок, побудований в 1936-1937 рр., відновлений після пожежі в 1946 р. Будівля відноситься до II групи з капітальності з нормативним терміном експлуатації 125 років. Будівля має Г-подібну конфігурацію в плані, з розмірами кожної із сторін: довжина – 53,8 м, ширина – 15,2 м, довжина – 45,6 м, ширина – 13,8 м. У будівлі є підвал завглибшки 3,2...3,4 м. Деформаційні шви та інші конструктивні захисні заходи від дії нерівномірних осідань основи відсутні. Капітальний ремонт будівлі за період експлуатації з 1946 р. не виконувався. Проектна документація на будівлю відсутня.

Конструктивна схема будівлі складається з повздовжніх і поперечних несучих стін, включаючи несучі цегляні стовпи. Стіни – цегляні з глиняної обпаленої цеглини М100 на розчині М30, М50, товщина стін 510 мм. Фундаменти під несучі стіни стрічкові з бутового каменю М200 на розчині М15 завтовшки 1,2 м. Міжповерхові перекриття – монолітні залізобетонні, збірні та дерев'яні по балках із залізничних рейок і прогонах з двотавра № 20...24. У підвалі головні балки з монолітного бетону В15. Перегородки – цегляні з шлакових плит завтовшки 8 см і дерев'яні щитові. У рівні перекриттів 3 і 4 поверхів зовнішні стіни сполучені тяжами із стержнів $\varnothing 25$ мм по стінах сходових клітин, що раніше мали вертикальні тріщини.

Видимі значні деформації будівлі проявилися 4 грудня 1995 р. Попереднім обстеженням було встановлено, що ці деформації пов'язані з витокami із водонесучих комунікацій, які розташовані в підвалі будівлі. З січня 1996 р. здійснювалися геодезичні спостереження за розвитком осідань, а також був виконаний комплекс інженерно-геологічних досліджень. Подальший розвиток деформацій будинку зумовив необхідність повторного обстеження та оцінки стану конструкцій, визначення причин подальшого розвитку

деформацій, а також оцінку динамічних дій, що передаються через ґрунтову основу на будівлю від будівельного обладнання при забиванні паль і транспорту, що рухається по проспекту – центральній транспортній магістралі м. Запоріжжя.

Основою будівлі є суглинки лесові природного складання, напівтвердої консистенції. Спеціальної підготовки основи не виконувалося. Причиною деформацій будівлі є прояв просідаючих властивостей ґрунтів основи внаслідок їх замочування з водонесучих комунікацій. Дослідженнями не встановлені причини активізації деформаційного процесу будівельних конструкцій будівлі у вересні-жовтні 2002 р. Імовірно, це також сталося із-за аварійного витоку з водонесучих комунікацій. Динамічні впливи від транспорту та будівельної техніки сприяли розвитку деформацій.

У геологічному відношенні до розвіданої глибини 30,0 м майданчик складений четвертинними відкладеннями, представленими лесовидними суглинками, що перешаровуються, і супісками, з прошарками похованих ґрунтів. Четвертинні відкладення на глибині 30,0 м залягають на дресві гранітів і гранітах. Згори розріз перекритий насипними ґрунтами.

Лесові ґрунти, розташовані вище сталого рівня підземних вод, мають просідаючі властивості при замочуванні як від власної ваги ґрунту, так і від додаткового навантаження. Потужність просідаючої товщі без урахування насипних ґрунтів складає 18,0 м і обмежується сталим рівнем підземних вод. Потужність просідаючої товщі під плямою будівлі складає 15,0 м. Сумарне просідання ґрунтів від власної ваги при замочуванні на майданчику може складати 54,11 см.

Хоча фактична мінімальна відстань від обстежуваної будівлі до транспортної магістралі складає 15 м, а до будівельного майданчика, де виконується забивання паль – близько 80 м (див. рис. 9.1), враховуючи особливості цього об'єкту, виникла необхідність перевірки рівня коливань фундаментів, при якому динамічні навантаження не викличуть розвитку додаткових деформацій будівлі.

Для дослідження впливу динамічних дій на експлуатаційні якості будівлі були проведені заміри рівня коливань будівлі у найбільш небезпечних (ослаблених віконними отворами) і доступних для замірів точках. Завдання віброметричних вимірів полягало в інструментальному визначенні частоти та амплітуди зміщення несучих стін обстежуваних будівель, з наступним обчисленням швидкості та прискорення коливань, і зіставленні цих величин з нормативними значеннями і відповідних санітарних норм.

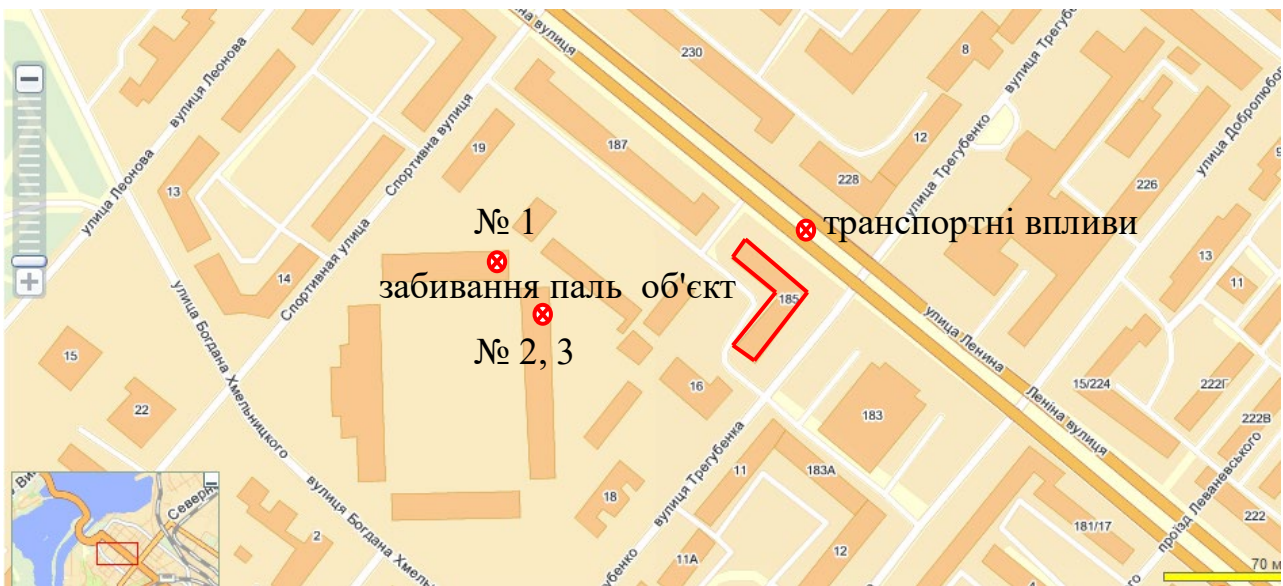


Рисунок 9.1 – Схема розташування досліджуваного об'єкту, транспортної магістралі та будівельного майданчика із забиванням паль

Для вирішення цього завдання ЗВ ДНДІБК був використаний віброметричний комплекс (датчики І001 в комплекті із самописцем рівня ЕК ІТ-04) для реєстрації зміщень в діапазоні частот 2...30 Гц. Для оперативної оцінки рівня коливань, налаштування комплексу та уточнення місць розташування датчиків використовувався також електронний цифровий віброметр БП-7. Були проведені виміри вертикальних і горизонтальних коливань будівлі при забиванні паль і проходженні трамвайних потягів та автомобільного транспорту по магістралі.

Забивання паль відповідно до умов без розрахунку може виконуватися

при відстані до навколишніх будівель не менше 30 м. Хоча фактичні мінімальні відстані від обстежуваної будівлі до занурюваних палів більше вказаної величини, враховуючи особливості цієї будівлі, виникла необхідність перевірити рівень коливань фундаментів, при якому забивання палів не викличе розвитку додаткових деформацій будівлі з умови:

$$a_{\text{ф}} < [a], \quad (9.1)$$

де $a_{\text{ф}}$ – прискорення вертикальних коливань будівлі на мінімальній відстані від палів;

$[a] = 0,15 \text{ м/с}^2$ – допустиме прискорення вертикальних коливань.

Для дослідження впливу забивання палів на експлуатаційні якості будівлі були проведені виміри рівня коливань в найбільш небезпечних (ослаблених віконними отворами) і доступних для вимірів точках будівлі. Завдання віброметричних вимірів полягало в інструментальному визначенні частоти та амплітуди зміщення несучих стін обстежуваних будівель при зануренні пробних палів (з наступним обчисленням швидкості та прискорення коливань) і зіставленні цих величин з нормативними значеннями.

Виміри проводилися 8 листопада 2002 р. при зануренні трьох пробних палів (палів № 1 – на відстані близько 140 м, палів № 2 і № 3 – на мінімальній проектній відстані від будівлі – близько 97 м). Крім того, для порівняльного аналізу були проведені заміри коливань будівлі при проходженні трамвайних потягів і автотранспорту по проспекту. Вібродатчики встановлювалися у віконних отворах приміщень третього поверху та орієнтувалися для сприйняття вертикальних і горизонтальних коливань.

Зареєстровані при зануренні секцій складених палів коливання мають складний характер, містять спектр гармонік з частотами 2,5...22,0 Гц, які затухають після кожного удару молота. При обробці фіксувалася переважаюча частота коливань максимальної амплітуди.

Максимальні (амплітудні) значення коливань за швидкістю та

прискоренню обчислювалися по формулах:

$$v = 2\pi Af; \quad (9.2)$$

$$a = 4\pi^2 Af^2, \quad (9.3)$$

де A – амплітуда зміщень, мм;

f – частота зміщень, Гц.

При зануренні палі № 1 коливання конструкції будівлі не перевищили порогу чутливості вимірювальної апаратури, тобто не були зафіксовані приладами.

При зануренні палей № 2 і № 3 на мінімальній відстані зафіксовані наступні величини коливань:

- вертикальних: $f = 11$ Гц; $A = 1,4$ мкм; $v = 0,097$ мм/с; $a = 6,6$ мм/с²;

- горизонтальних: $f = 13$ Гц; $A = 1,2$ мкм; $v = 0,098$ мм/с; $a = 8,0$ мм/с².

При русі трамвайних потягів і автотранспорту зафіксовані наступні максимальні величини коливань:

- вертикальних: $f = 11$ Гц; $A = 4,5$ мкм; $v = 0,312$ мм/с; $a = 21,2$ мм/с²;

- горизонтальних: $f = 13$ Гц; $A = 4,1$ мкм; $v = 0,335$ мм/с; $a = 27,3$ мм/с².

Для безкаркасних будівель з несучими стінами та III групою ґрунтів основ, допустиме прискорення вертикальних коливань фундаментів, при якому не відбуваються додаткові деформації основ, складає 150 мм/с², що значно більше, чим фактично заміряні значення.

Оцінка рівня коливань будівлі, що обстежувалася, виконана відповідно до нормативів. Як критерій був прийнятий рівень середньоквадратичної віброшвидкості $v_{ск}$ у діапазоні октавної частоти 16 Гц.

Для коливань, що мають тимчасовий характер, пов'язаний з виробництвом будівельних робіт у денний час, допустимий рівень підвищується на 10 дБ, а при тривалості дії менше 6% – додатково на 15 дБ (що має місце при зануренні однієї палі в годину). Таким чином, допустимий рівень $[v_{ск}] = 92$ дБ = $1,99$ мм/с, що також більше виміряних значень швидкості

коливань.

Слід зазначити, що рівень коливань будівлі при русі транспорту по магістралі приблизно в три рази перевищує відповідні значення при зануренні паль.

Для моделювання цих впливів з урахуванням їх передачі через ґрунт скористаємося скінчено-елементним підходом, реалізованим у програмному комплексі «LIRA-Windows». Як варіанти для зіставлення використаємо прикладення динамічних навантажень до просторової моделі будівлі в точках їх безпосереднього вимірювання (варіант 1), і передачею навантажень від транспортної магістралі та забивання паль через ґрунтову основу, змодельовану об'ємними СЕ (варіант 2).