

УДК 624.042.8

Банах А.В.,
Запорізька державна інженерна академія

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОМУНІКАЦІЙ НА ЕКСПЛУАТОВАНІ ВПРОДОВЖ ТРИВАЛОГО ЧАСУ БУДІВЛІ

Проаналізовано параметри динамічних дій від метрополітену та причини, що посилюють їх негативний вплив на будівлі, що експлуатуються. Наведено приклад моделювання динамічних дій на будівлі, розташовані поблизу метрополітену, та результати чисельних досліджень їх коливань при різних варіантах конструктивної схеми та моделювання динамічних дій на основі метода кінцевих елементів. Надано аналіз залежностей динамічних параметрів будівель від їх конструктивної схеми та місця прикладення навантаження.

Ключові слова: динамічні впливи на будівлі, транспортні комунікації, метрополітен, експлуатовані будівлі, метод кінцевих елементів, моделі взаємодії будівлі з ґрунтовими основами

Транспортна проблема у великих містах постає все гостріше. Враховуючи малу пропускну здатність центральних частин великих міст і значний приріст кількості транспортних засобів, необхідно вирішувати проблеми розширення вулиць і доріг, влаштування зручних шляхових розв'язок, збільшення кількості транспортних інженерних споруд (мостів, естакад, тунелів), розвитку транспортної інфраструктури та ін. При цьому, чим старіше місто, тим жорсткіше обмеження на розширення проїжджих частин вулиць і доріг, проїзд у центральних частинах міста, екологічні вимоги. Необхідно також приймати до уваги негативний аспект будівництва та експлуатації такого ефективного виду транспорту, як метрополітен, у великих містах – культурно-історичних центрах, що мають історичну забудову, яка підпадає під дію динамічних впливів від підземних транспортних комунікацій. Такі будівлі та споруди, як правило, погано опираються динамічним впливам і швидко досягають аварійного стану, що цілковито неприпустимо для об'єктів, які мають значну історичну цінність и знаходяться під охороною держави.

В багатьох випадках практично єдиним варіантом комплексного вирішення зазначених вище проблем все-таки є будівництво метрополітену. І в той же час його зведення – один з найбільш технічно складних, трудомістких і дорогих видів будівництва, що вимагає величезних сукупних знань і ресурсів. У зв'язку з будівництвом метрополітену у великих містах нашої країни і за її

межами особливу актуальність має проблема захисту від вібрації об'єктів міської забудови. При цьому необхідно звернути увагу на вдалі та невдалі варіанти реалізації такого будівництва та узагальнити світовий досвід для уникнення можливих проблем при будівництві та експлуатації метрополітенів. Так, наприклад, у перспективному плані розвитку м. Запоріжжя до 2025 р. для вирішення транспортної проблеми планується прокладення метрополітену як найбільш ефективного виду міського транспорту, не дивлячись на складні інженерно-геологічні умови території міста.

Аналізуючи досвід експлуатації метро у великих містах, можна зробити висновок про негативний вплив динамічних дій від підземних транспортних комунікацій на об'єкти міського середовища. В житлових і суспільних будівлях міської забудови виникають небажані механічні коливання, які негативно впливають як на самопочуття людини, так і на загальний стан будівель і споруд, розташованих у безпосередній близькості від тунелів метрополітену. Допустимий рівень коливань споруд, що підпадають під дію динамічних впливів, визначається фізіологічним впливом коливань на людей, несучою здатністю (міцністю, стійкістю та довговічністю) конструкцій, що коливаються, а також технологічними умовами (впливом коливань на виробничі процеси) [1].

У більшості випадків вібрація, що створюється різними джерелами, має складний спектр частот, але відрізняється різним розподіленням інтенсивності по частотах і різним характером зміни загальної вібраційної енергії в часі. Людина відчуває вібрацію від часток 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 являє собою, у звісній мірі, механічну коливальну систему, яка має власний резонанс і резонанс окремих органів, що і визначає чітку частотну залежність багатьох біологічних ефектів вібрації. Так, наприклад, для людини, що сидить, резонанс тіла, який викликається дією вібрації та проявляється неприємними суб'єктивними відчуттями, настає на частотах 4...6 Гц, для людини, що стоїть, – на частотах 5...12 Гц.

Тривалість коливань у будівлях, які викликаються одним потягом метрополітену, що рухається, становить приблизно 10 с. У години пік на трасі метрополітену може проходити в обох напрямках до 40 пар потягів на годину та більше. Отже, тривалість дії коливань може сягнути 10...20 % загального часу роботи метрополітену. Спектральний склад цих коливань достатньо широкий – 5...100 Гц. Максимальні амплітуди коливань будівельних конструкцій будівель, які знаходяться поблизу тунелів метрополітену, дорівнюють декільком мікронам, зазвичай же амплітуда коливань не перевищує 1 мкм.

В останній час вимоги комфортності довготривалого перебування людини в приміщенні виходять на перший план після вимог забезпечення умов міцності, надійності та функціональності. Вібрація, яка проникає в житлові приміщення, внаслідок практично цілодобової довготривалої дії може чинити несприятливий вплив на людину. Клініко-фізіологічне обстеження населення, яке в житлових приміщеннях знаходиться під дією механічних коливань від транспорту, особливо рейкового, виявило об'єктивні фізіологічні розлади функціонального стану окремих систем організму.

Рух потягів метрополітену викликає коливання будівельних конструкцій будівель з частотою 35...60 Гц і амплітудою від часток мікрону до 1...7 мкм. Переважаючими є горизонтальні коливання в поперечному напрямку до осі тунелю та вздовж короткого напрямку будівлі, розташованої біля тунелю. Вертикальні коливання мають такий самий частотний склад і в 2...3 рази меншу амплітуду. Найбільші амплітуди горизонтальних коливань спостерігаються у рівні підлоги підвалу будівель внаслідок особливостей передачі коливань через ґрунтову основу. Амплітуди коливань стін у 2...2,5 рази більші амплітуд коливань сходової площадки першого поверху. Вище першого поверху амплітуди коливань можуть змінюватися як у напрямку зменшення, так і збільшення.

У нашій країні допустимі рівні вібрації в житлових будинках, умови і правила їх вимірювання та оцінки регламентуються санітарними нормами [2]. Єдиним засобом захисту приміщень житлових будівель від шуму та вібрації, які виникають при роботі ліній метрополітену при недотриманні мінімально безпечних відстаней, є віброізоляція шляху метрополітену від ґрунту за допомогою гумових прокладок. У закордонній практиці використовується також віброізоляція будівель за допомогою пневматичних віброізоляторів.

При проектуванні плану ліній метрополітену головним фактором зазвичай є міська забудова, від якої залежить розташування станцій і напрямок тунелів, які прокладаються, як правило, по найкоротшій відстані. Для з'єднання прямих ділянок шляху влаштовуються криволінійні ділянки радіусом, який нормується згідно [3]. Профіль ліній метрополітену призначається в залежності від інженерно-геологічних і містобудівних умов на трасі лінії, способу виконання робіт по спорудженню тунелів та експлуатаційних вимог. Глибина закладення ліній метрополітену приймається такою, щоб товщина засипки над перекриттям була мінімальною, відповідала глибині промерзання ґрунту (при відкритому способі робіт) або глибині, яка дозволяє вести роботи закритим способом при мінімальній покрівлі міцних порід над тунелем. Оброблення тунелів і станцій метрополітену повинні сприймати цілий ряд навантажень: постійні – гірничий тиск по контуру вироблення (тобто тиск оточуючих

вироблення порід), гідростатичний тиск підземних вод, вагу будівель та інших надземних споруд, власну вагу; тимчасові – динамічні навантаження від потягів, що рухаються в тунелях. Тому вони повинні мати міцні, стійкі та довговічні конструкції.

Влаштування тунелів мілкового закладання має техніко-економічні переваги у порівнянні з прокладкою тунелів глибокого закладання. В багатьох містах вони прокладаються у відкритій траншеї вздовж вулиці: у підготовлену траншею вкладаються залізобетонні секції зі збірною попередньо напруженого залізобетону або виконується конструкція тунелю з монолітного залізобетону. Але при експлуатації таких магістралей коливання в будівлях, розташованих поблизу траси, досягають відчутного рівня [2].

При русі вагонів метрополітену виникає декілька джерел коливань. Це, по-перше, робота двигуна, компресора, системи гальм вагону та ін.; по-друге, динамічна взаємодія рухомого складу, рейкошпальної решітки і основи шляху. Друга група джерел коливань є домінуючою з точки зору створення вібрацій тунелю, оточуючого ґрунту та будівель.

Згідно [4], головним джерелом коливань є удар під час проходження колеса рухомого складу через рейкове з'єднання. При цьому виникає вібрація оброблення тунелю, яка згасає до моменту проходження через стик наступного колеса. Неідеально гладка поверхня матеріалу колеса та рейки, деформовані колеса, а також ефект «вихляння» складу під час руху, створюють полічастотну вібрацію. Домінуючою є ударна дія (25...50 Гц). Якщо частота коливань близька до власної частоти оброблення тунелю, то навіть із урахуванням особливостей будови шляху та фільтруючих властивостей ґрунту хвильове випромінювання може підсилюватися. У цьому дослідженні не розглядалися конструктивні особливості оброблення тунелів та верхньої будови шляху, робочий діапазон частот вібрацій від метро прийнятий у межах 20...70 Гц.

Коливання з частотою 35...50 Гц викликані вертикальними коливаннями невіднесених мас вагонів (маса колісної пари плюс маса букс, підшипників та ін.), які в свою чергу викликані випадковими нерівностями шляхів, вибоїнами на колесах, стиками рейок та ін. Колісну пару можна розглядати як систему з одним ступенем свободи, показником пружності є пружність рейкової основи. Власна частота такої системи складає біля 40 Гц. Механізм виникнення коливань з частотою 50...60 Гц більш складний, пов'язаний із горизонтальними коливаннями невіднесених мас вагонів. Гармоніки з частотою 8...10 Гц викликаються коливаннями віднесених мас візків вагонів [5]. Під час руху потягів виникають коливання у діапазоні низьких, середніх та високих частот. У близькій зоні складові коливань не взаємопов'язані, але при віддаленні вертикальні та горизонтальні складові коливань, які поширюються

перпендикулярно осі залізної дороги, мають певний взаємозв'язок. Затухання коливань при інших рівних умовах залежить від їх частоти, закономірність цього явища на різних частотах однакова. Чим вище частота коливань, тим інтенсивніше їх затухання. На відстані декількох десятків метрів високочастотні коливання практично повністю затухають.

Для житлових і суспільних будівель рейкові транспортні магістралі – метрополітен, трамвайні лінії та залізні дороги – найбільш несприятливі зовнішні джерела вібрацій. Дослідження показали, що коливання з віддаленням на різну відстань від метрополітену затухають, але цей процес немонотонний, він залежить від складених ланок на шляху розповсюдження вібрації: рейка – стіна тунелю – ґрунт – фундамент будинку – будівельні конструкції. У випадках, коли будівлі розташовані в безпосередній близькості від рейкової дороги, вібрації в них можуть перевищувати гранично допустимі значення, встановлені [2], у 10 разів (на 20 дБ). У спектральному складі вібрації переважають октавні полоси із середньгеометричними частотами 31,5 і 63 Гц.

Враховуючи викладене вище, для правильного прогнозування наслідків будівництва метрополітену в міському середовищі із щільною забудовою необхідно оцінити ступінь впливу динамічних дій від підземних транспортних комунікацій на будівлі, деформовані в процесі експлуатації внаслідок нерівномірних осадок ґрунтової основи. Для цього використовуємо дані про результати обстеження будівель у зоні впливу метрополітену, а також чисельне оцінювання впливу динамічних дій на ці будівлі.

Дослідження проведені на реальних об'єктах міської забудови. 55 % конструктивних систем будівель майданчика, що досліджується, складають будівлі з повним і неповним монолітним залізобетонним каркасом. Все це будівлі середньої поверховості з терміном експлуатації 50 і більше років. Інші – 1...2 поверхові системи з несучими стінами з цегли терміном експлуатації від 6 до 25 років. До теперішнього часу на майданчику, що досліджується, збереглися будівлі, зведені в давні часи, та будівлі більш пізніх епох. Це культові споруди (церкви та храми) і будинки висотою до 3-х поверхів. Матеріал будівель – в основному цегляна та кам'яна кладка, в тому числі з кам'яних блоків, і дерев'яні конструкції перекриттів і покриттів. Вони є історичними пам'ятками і нині здійснюється їх реконструкція.

Майданчик будівництва, який досліджується, розташований безпосередньо над тунелями підземних комунікацій. Впродовж 4 місяців проводилося спостереження за деформаціями будівель, які знаходяться в зоні впливу транспортних вібрацій. В даному дослідженні представлений аналіз технічного стану будівель і даних спостережень за деформаціями, оцінка динамічних параметрів і напружено-деформованого стану об'єктів, а також

кількісний аналіз впливу транспортних комунікацій на будівлі, які знаходяться в зоні впливу метрополітену.

Для оцінки можливих геодинамічних процесів, що відбуваються в ґрунтах основи майданчика будівництва метро, були проведені польові випробування і лабораторні дослідження зразків ґрунту, отриманих з бурових свердловин.

У зв'язку з тим, що в процесі будівництва метрополітену при виконанні земляних робіт і під час прокладання тунелів виникли деформації земної поверхні, це відбилося на стані будівель, що експлуатуються, в зоні впливу метро. У відповідності до вимог інспектуючих органів міської адміністрації, було проведене обстеження стану будівель і споруд, що експлуатуються, з урахуванням зміни висотного положення несучих конструкцій. Результати такого обстеження були надані у вигляді звіту та проаналізовані для підготовки розрахунків динамічних моделей взаємодії будівель з основами з урахуванням конструкцій підземних транспортних комунікацій і рухомого динамічного навантаження від потягів метрополітену. В якості прикладу моделювання транспортних дій на об'єкт, розташований поблизу транспортної магістралі з інтенсивним рухом, розглянуто житлові будинки. У наведеному прикладі виконано розрахунок моделей двох будівель із різною конструктивною схемою, однаково орієнтованих відносно транспортної магістралі метрополітену.

Результати обстеження технічного стану будівель в зоні впливу метрополітену показали, що основні деформації будівлі, пов'язані з утворенням тріщин і дефектів в несучих та огорожуючих конструкціях, сталися в період будівництва і початкової стадії експлуатації метрополітену. При цьому подальші дії на будівлі, що пов'язані з динамічними процесами та передаються через ґрунти основи, погіршують стан несучих конструкцій.

З січня 1996 р. проводилися геодезичні спостереження за розвитком осадок, а також був виконаний комплекс інженерно-геологічних досліджень. Подальший розвиток деформацій будинку обумовив необхідність повторного обстеження і оцінки стану конструкцій, визначення причин подальшого розвитку деформацій, а також оцінки динамічних дій на будівлю від транспортних навантажень. Хоча фактична мінімальна відстань від будівлі, що обстежується, до транспортної магістралі складає 15 м, враховуючи особливості даної будівлі, виникла необхідність перевірки рівня коливань фундаментів, при якому транспортні дії не викличуть розвитку деформацій будівлі.

Для дослідження впливу транспортних дій на експлуатаційні якості будівлі були проведені вимірювання рівня коливань будівлі в найбільш небезпечних (послаблених віконними отворами) і доступних для вимірювань точках. Задача віброметричних вимірювань полягала в інструментальному

визначенні частоти і амплітуди зміщення несучих стін будівель, що обстежувалися, з наступним вирахуванням швидкості та прискорення коливань, і співставленні цих величин з нормативними значеннями ВСН 490-87 і відповідних Санітарних норм [2]. Для вирішення цієї задачі був використаний віброметричний комплекс для реєстрації зміщень в діапазоні частот 2...30 Гц. Для оперативної оцінки рівня коливань, налаштування комплексу та уточнення місць розташування датчиків був використаний також електронний цифровий віброметр. Були проведені заміри вертикальних і горизонтальних коливань будівлі при проходженні потягів метро та автомобільного транспорту.

При русі потягів метро зафіксовані наступні максимальні величини коливань: вертикальні – частота $f=14$ Гц; амплітуда $A=4,4$ мкм; швидкість $v=0,497$ мм/с; прискорення $a=36,6$ мм/с²; горизонтальні $f=16$ Гц; $A=4,2$ мкм; $v=0,498$ мм/с; $a=38,0$ мм/с².

У відповідності до табл. 2 ВСН 490-87 допустиме прискорення вертикальних коливань фундаментів для безкаркасних будівель з несучими стінами та III групою ґрунтів основ, при якій не відбуваються додаткові деформації основ, складає 150 мм/с², що значно більше, ніж фактично заміряні. Оцінка рівня коливань будівлі, що обстежувалося, виконана у відповідності до нормативних документів. За критерій приймається рівень середньоквадратичної віброшвидкості в діапазоні октавної частоти 16 Гц [1].

У відповідності до результатів досліджень, проведених при обстеженні та оцінці технічного стану, при формуванні розрахункових моделей будівель, що знаходяться в зоні дії метрополітену, були використані принципи врахування динамічних дій через ґрунтову основу, яка була змодельована відповідно до структури інженерно-геологічного розрізу, отриманого в результаті проведення вишукувань на ділянці будівництва. Розрахункові моделі склалися виходячи з умови проходження по тунелях метрополітену двох потягів назустріч один одному з максимальною швидкістю. При моделюванні динамічних дій від потягів метро для різних завантажень задається точка зустрічі потягів метрополітену під кутом 45° в горизонтальній проекції до фронтальної стіни будівлі та в площині цієї ж стіни. Таким чином можна буде перевірити залежність параметрів коливань системи «будівля – основа» від положення динамічного навантаження в тунелі, розташованому в ґрунтовій товщі.

Для підтвердження висновків, отриманих у звіті, та демонстрації впливу деяких наведених вище факторів на результати динамічних розрахунків моделей будівель та їх конструкцій, наведені два розрахунки будівель, характерних по конструктивній схемі, поширеності та динамічним діям. Виконаний розрахунок житлової будівлі з каркасом із монолітного залізобетону, стіновим заповненням із великорозмірних блоків, симетричної в

плані, яка знаходиться над одним з тунелів і орієнтована фронтальною стіною перпендикулярно осі тунелю, та офісної будівлі, безкаркасної, з несучими цегляними стінами та монолітними залізобетонними перекриттями з заповненням із великорозмірних пустотних блоків, орієнтованої таким же чином.

Співставленням просторових розрахунків двох будівель різної конструктивної схеми, однаково орієнтованих відносно тунелів метрополітену, проілюстрована залежність ступеня дії на будівлі вібрації під час проходження потягів метрополітену від конструктивної схеми будівлі.

Розрахунки виконані за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-Windows» версії 9.0 (ліцензія НДІАСБ для ЗДІА № 9с123324). На рис. 1 наведені розрахункові моделі будівель спільно з основами, які включають тунелі метрополітену із залізобетонною обробкою.

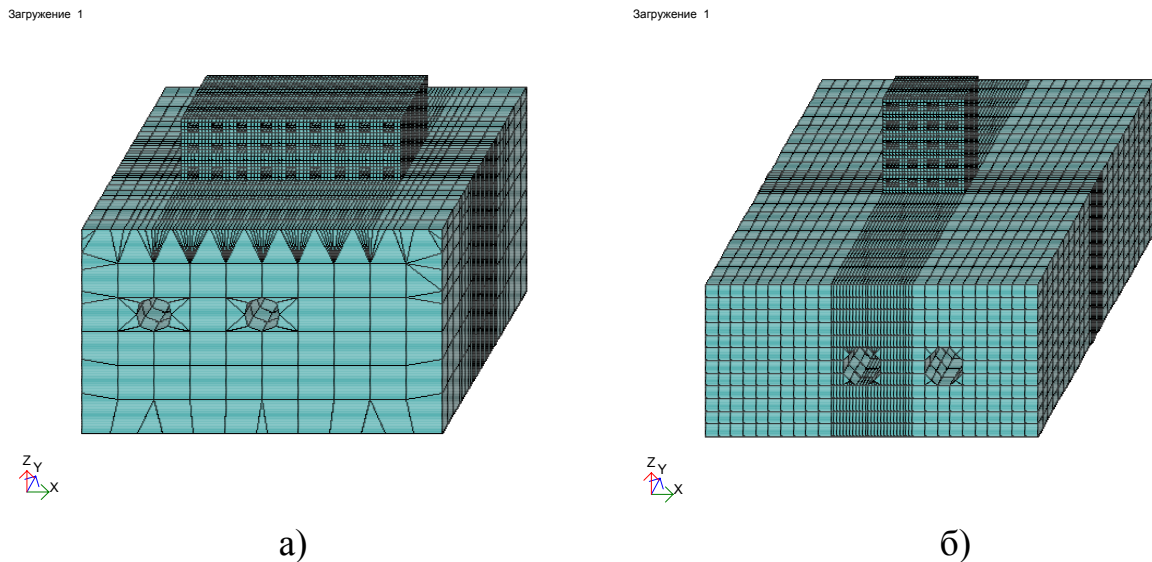


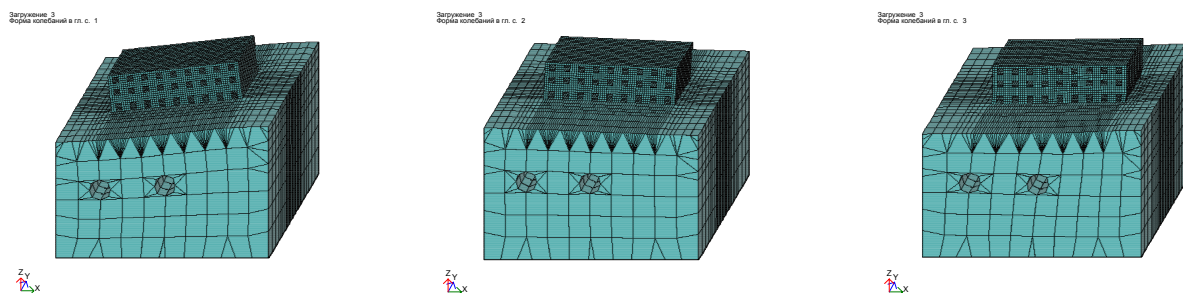
Рис. 1. Розрахункові моделі взаємодії будівель з основами, які включають тунелі метрополітену: а – каркасна будівля; б – безкаркасна будівля

Розрахунок наведених моделей будівель різних конструктивних систем дозволив співставити динамічні характеристики, отримані методом прямих вимірювань і за результатами розрахунків. В даному випадку аналізувалися параметри власних коливань системи. Перші три форми власних коливань системи наведені на рис. 2, їх характеристики для каркасної будівлі – в табл. 1, для безкаркасної будівлі – в табл. 2.

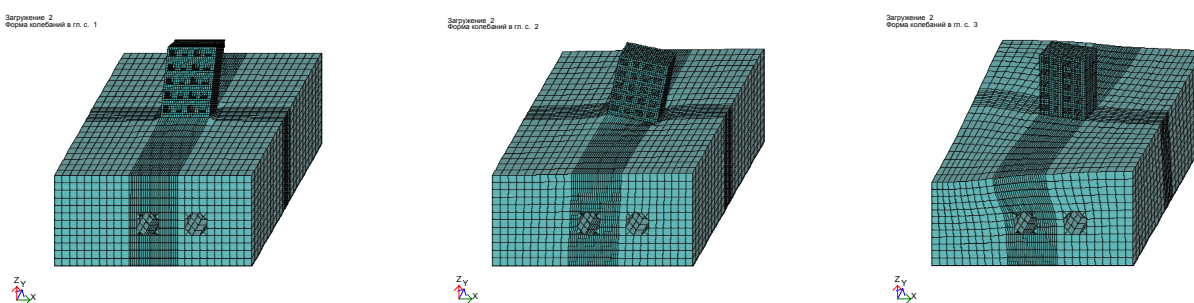
Співставлення виду перших 11 форм власних коливань для будівель, що досліджуються, показало співпадіння не тільки їх напрямків, але й відповідність лінійних і крутильних форм (див. рис. 2). Це говорить про те, що в умовах динамічних дій, які передаються через ґрунт основи, форми власних

коливань для будівель практично однакової структури, але різних конструктивних систем, в основному співпадають. Таким чином, для оцінки впливу на будівлі транспортних динамічних дій при передачі їх через основу конструктивна схема опиняється другорядним фактором. Але слід мати на увазі, що при динамічних діях велике значення має врахування в розрахункових моделях усіх конструктивних елементів – і несучих, і самонесучих, які мають суттєві масо-інерційні характеристики [6].

1



2



а)

б)

в)

Рис. 2. Форми власних коливань моделей будівель: 1 – каркасна будівля; 2 – безкаркасна будівля; а – 1-а форма; б – 2-а форма; в – 3-я форма

У сформованих розрахункових моделях були враховані всі несучі елементи – залізобетонний каркас і монолітні плити перекриттів для каркасної будівлі, цегляні стіни та плити перекриттів приведеної жорсткості для безкаркасної будівлі, а також елементи стінових заповнень, перегородки, сходові марші та площадки, існуючі елементи підсилення будівель – залізні тяжі та прокатні профілі. Це й дозволило отримати практично однакові форми власних коливань системи.

Співставлення результатів розрахунку для різних варіантів прикладення динамічного навантаження (див. табл. 1) показує, що відстань від рухомого складу метрополітену до будівлі, що розраховується, не впливає на характеристики власних коливань системи.

Це можна пояснити тим, що динамічне навантаження було прикладене до елементів, які моделюють залізобетонну обробку тунелів, яка перетворилася в контур, що коливається, та рівномірно по довжині передає коливання на елементи, які моделюють ґрунти основи.

Таблиця 1. Характеристики власних коливань моделі каркасної будівлі при різному положенні точки прикладення динамічної сили

Модель	№ форми	Власні значення	Частоти		Період, с
			Колова, 1/с	Лінійна, Гц	
Каркасна будівля. Динамічне навантаження від потягів – 20 м від повздовжньої стіни (глибина 15 м)	1	0,200	4,996	0,795	1,258
	2	0,190	5,272	0,839	1,192
	3	0,180	5,549	0,883	1,132
	4	0,162	6,161	0,980	1,020
	5	0,145	6,909	1,100	0,909
	6	0,140	7,159	1,139	0,878
	7	0,131	7,609	1,211	0,826
	8	0,118	8,457	1,346	0,743
	9	0,115	8,701	1,385	0,722
	10	0,115	8,725	1,389	0,720
	11	0,112	8,955	1,425	0,702
Каркасна будівля. Динамічне навантаження від потягів – в площині повздовжньої стіни (глибина 15 м)	1	0,200	4,996	0,795	1,258
	2	0,190	5,272	0,839	1,192
	3	0,180	5,549	0,883	1,132
	4	0,162	6,161	0,980	1,020
	5	0,145	6,909	1,100	0,909
	6	0,140	7,159	1,139	0,878
	7	0,131	7,609	1,211	0,826
	8	0,118	8,457	1,346	0,743
	9	0,115	8,701	1,385	0,722
	10	0,115	8,725	1,389	0,720
	11	0,112	8,955	1,425	0,702

Таблиця 2. Характеристики власних коливань моделі безкаркасної будівлі

Модель	№ форми	Власні значення	Частоти		Період, с
			Колова, 1/с	Лінійна, Гц	
Безкаркасна будівля	1	0,223	4,490	0,715	1,399
	2	0,165	6,069	0,966	1,035
	3	0,157	6,362	1,012	0,988
	4	0,156	6,414	1,021	0,980
	5	0,145	6,904	1,099	0,910
	6	0,143	7,008	1,115	0,897
	7	0,138	7,223	1,150	0,870
	8	0,137	7,276	1,158	0,864
	9	0,133	7,525	1,198	0,835
	10	0,129	7,752	1,234	0,811
	11	0,122	8,223	1,309	0,764

Співставлення характеристик динамічної реакції будівель різної конструктивної системи наведено в табл. 3. Отримані результати, близькі за значеннями (відхилення до 14 %), що підтверджує важливість врахування усіх елементів, які мають суттєві масо-інерційні характеристики, в розрахункових динамічних моделях.

Таблиця 3. Співставлення відхилень характеристик власних коливань моделей каркасної та безкаркасної будівель

Мо- дель	Характе- ристика	Абсолютні значення відхилень за формами власних коливань, % (еталонна модель – каркасна будівля)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Без- кар- касна будів- ля	Власні значення	10,3	13,2	12,8	3,7	0	2,1	5,1	13,9	13,5	10,9	8,2
	Частота, Гц	10,1	13,1	12,8	4,0	0	2,1	5,0	14,0	13,8	11,2	8,1
	Період, с	10,1	13,2	12,7	3,9	0	2,1	5,1	14,0	13,5	11,2	8,1

Висновки: Тривалий термін експлуатації будівель суттєво впливає на їх динамічну реакцію і знижує їх опір динамічним впливам від транспортних комунікацій. В той же час, відстань від рухомого складу метрополітену до будівлі, що розраховується, несуттєво впливає на характеристики власних коливань системи. Дослідження підтвердили важливість для розрахункових динамічних моделей докладного врахування усіх елементів, які мають суттєві масо-інерційні характеристики.

Література

1. Динамический расчет зданий и сооружений / М.Ф.Барштейн, В.А.Ильичев, Б.Г.Коренев и др. // Под ред. Б.Г.Коренева, И.М.Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
2. СанПиН 1304-75. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах. – М.: Минздрав, 1975. – 9 с.
3. Тоннели и метрополитены // Под ред. В.Г.Храпова. – М.: «Транспорт», 1989. – 382 с.
4. Ковальчук О.А., Дашевский М.А. Особенности динамической реакции здания повышенной этажности на вибрации, возбуждаемые движением поездов метрополитена // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 4. – С. 24-25.
5. Динамический расчет зданий и сооружений на специальные воздействия / М.Ф.Барштейн, Н.М.Бородачев, Л.Х.Блюмина и др. // Под ред. Б.Г.Коренева, И.М.Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.

6. Банах В.А., Банах А.В. Особенности работы на динамические воздействия сооружений, эксплуатируемых в сложных грунтовых условиях // Вісник ДонНАБА. Збірник наукових праць. – Вип. 2005-8 (56). – Макіївка: ДонНАБА, 2005. – С. 56-60.

Аннотация

Проанализированы параметры динамических воздействий от метрополитена и причины, усиливающие их негативное влияние на эксплуатируемые здания. Приведен пример моделирования динамических воздействий на здания, расположенные вблизи метрополитена, и результаты численных исследований их колебаний при различных вариантах конструктивной схемы и моделирования динамических воздействий на основе метода конечных элементов. Дан анализ зависимостей динамических параметров зданий от их конструктивной схемы и места приложения нагрузки.

Ключевые слова: динамические воздействия на здания, транспортные коммуникации, метрополитен, эксплуатируемые здания, метод конечных элементов, модели взаимодействия зданий с грунтовыми основаниями.

Annotation

The parameters of dynamic effects from subway and causes, increasing their negative influence on exploiting buildings, are analyzed. The example of modeling of the dynamic effects on buildings, located near-by subway, and results of numeral researches of their vibrations at the different constructive schemes and different modeling of dynamic effects with finite elements method are shown. The analysis of dependences of dynamic parameters of buildings from their constructive scheme and place of attaching of loadings is given.

Keywords: dynamic influences on buildings, transport communications, subway, exploiting buildings, finite elements method, models of co-operation of building with the grounds.