

АЕРОПОРТИ ТА ЇХ ІНФРАСТРУКТУРА

УДК 624.072.336 (043.2)

¹А.В. Дзюба, к.т.н., доц.²Т.Л. Миронець, студ.**ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД ДІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ**

Національний авіаційний університет

¹E-mail: angelive@mail.ru²E-mail: tvmir@ukr.net

Розглянуто вплив руху потяга метрополітену на висотні будівлі. Наведено рекомендації щодо захисту будівель та споруд від вібрації: збільшення жорсткості будівлі, застосування огороджуючих конструкцій у масиві ґрунту.

Influence of motion of train of underground passage on height housing building is considered. Recommendations in relation to protecting of buildings and buildings from a vibration are given. Basic from them: to increase building inflexibility; to apply barriering constructions in the array of soil.

Рассмотрено влияние движения поезда метрополитена на высотные здания. Приведены рекомендации по защите зданий и сооружений от вибрации: увеличению жесткости здания, применение ограждающих конструкций в массиве почвы.

Постановка проблеми

Нерідко через нестачу вільної площі для забудови у великих містах житлові та громадські будівлі будують поблизу ліній метрополітену.

Основне джерело вібрації на лініях метрополітену – це удар під час проходження колеса потяга через рейковий стик. У результаті цього виникає вібрація тунелю, яка загасає до моменту проходження через стик наступного колеса.

Неідеально гладка поверхня матеріалу колеса і рейка, деформовані колеса, ефект відхилення потяга під час руху створюють полічастотну вібрацію. Найнебезпечнішою є ударна дія (25–50 Гц).

Тривалість коливань у будівлях, викликаних потягом метрополітену, становлять близько 10 с.

Основна енергія коливань зосереджена у вузькому діапазоні (35–60 Гц).

Швидкість коливань може досягати 0,5 мм/с, а прискорення коливань – 20 см/с². Коливання такої інтенсивності уже можуть бути відчутними і створювати дискомфорт.

Значення найбільш низькочастотних складових транспортних динамічних навантажень часто близькі до значень власних частот коливань більшості будівель 2–8 Гц. Тому в зонах дії метрополітену іноді спостерігається додаткове просідання будівель на 50–150 мм.

Техногенні динамічні навантаження розповсюджуються, як правило, у верхній частині ґрунтової маси до глибини 10–15 м. Приблизно до такої відмітки заглиблюються фундаменти більшості громадських та житлових будівель.

Найбільш негативним впливом є імпульсна дія від гальмування метрополітену [1].

Мета роботи – розроблення підходів до зниження негативного впливу на стан будівель від дії метрополітену.

Аналіз досліджень і публікацій

Незважаючи на те, що метрополітен у нашій країні відносно не новий вид транспорту, проблема впливу вібрації від дії руху метрополітену на напружено-деформований стан висотних будівель досі мало вивчена.

У довіднику проектувальника [2] основну увагу приділено розрахунку споруд на звичайні експлуатаційні динамічні дії. Найбільш детально розглянуто:

- розрахунок споруд на навантаження від машин;
- гармонійні дії;
- імпульсне навантаження незначної інтенсивності.

Досить цікавим і змістовним є вивчення тривалості коливань у будівлях, зумовлених потягами метрополітену. У години «пік» на лінії метрополітену може проходити в обох напрямках до 25 і більше пар потягів за 1 год.

Отже, тривалість дії коливань може досягти 10–20% загального часу, протягом якого працює метрополітен.

Допустимі рівні коливань у житлових і громадських будівлях установлено нормами [3].

Згідно з нормами дозволяється розміщувати житлові будівлі не ближче ніж 40 м від тунелю метрополітену. У разі ближчого розташування рівень коливань слід визначати розрахунком і в разі потреби розробляти віброзахисні заходи.

У роботі [1] детально описано розрахунок власних коливань будівлі від дії метрополітену з врахуванням програмного комплексу на основі методу скінченних елементів.

Дослідження поширення вібрацій і шуму під час проектування метрополітену в м. Копенгагені (Данія) полягало у проведенні серії вибухів малої потужності на глибині тунелів і супутніх вимірюваннях.

Оскільки копенгагенський метрополітен на сьогодні є найновішим у світі (введений в експлуатацію в 2002 р.), то під час його проектування та будівництва використовувались найсучасніші технології.

Результати досліджень показали, що поширення вібрацій і шуму можна керувати, причому без застосування яких-небудь абсолютно нових технічних засобів [4].

Для проведення експерименту передавання вібрацій від тунелів до чутливих об'єктів як джерела вібрацій використовували великий сейсмічний молот і спеціальний гідравлічний пристрій, а датчики вібрацій встановили в різних місцях будівель і в ґрунті. Результати складних досліджень підтвердили необхідність керування поширення вібрацій і шуму.

Дослідження впливу вібрації, яка спричинена рухом потяга метрополітену, умовно можна розділити на практичні та теоретичні.

Через велику вартість проведення натурних експериментів частіше вдаються до теоретичних обґрунтувань тих чи інших моментів.

Постановка завдання – проектування будівель стійких до динамічних впливів та застосування огорожувальних конструкцій в зоні впливу метрополітену для забезпечення гасіння коливань.

Зниження негативного впливу на стан будівель від дії метрополітену

В умовах динамічної дії найбільш стійкі до вібрації споруди та будівлі з монолітного залізобетону. Така стійкість до вібрації забезпечується властивістю роботи монолітних конструкцій сприймати не резонанси, а більш м'які резонансні впливи.

Найоптимальніша конструктивна схема в цьому випадку – це колонний каркас, ефективність якого підвищується зі збільшенням товщини плит перекриття і зменшенням перерізу колон чи пілонів. Як фундамент рекомендується використовувати суцільну монолітну залізобетонну плиту на палевому полі, що дозволяє зменшити вплив неоднорідностей ґрунтової основи.

Для проведення числового експерименту за основу було взято монолітно-поверхову житлову будівлю поблизу Святошинсько-Броварської лінії Київського метрополітену.

Клас бетону В30, клас робочої арматури АIII.

Товщина монолітного перекриття 200 мм, товщина вертикальних несучих конструкцій 300 мм.

Фундамент – суцільна монолітна залізобетонна плита на палевому полі.

Числовий експеримент проводили в програмному комплексі МОНОМАХ з урахуванням [3; 5]:

– вітрових та снігових навантажень відповідно до району будівництва;

– довготривалих та короткочасних навантажень на плити перекриття типових поверхів, горіщного перекриття.

Коливання ґрунтів основи будинку поблизу метрополітену відповідають 6, 7-бальному землетрусу.

Для визначення горизонтального переміщення верхівки будівлі виконували розрахунок з товщиною плит перекриття 200, 300, 400 мм.

Результати розрахунків покладено в основу визначення коефіцієнта динамічності β залежно від періоду коливань T_i та перерізу плит перекриття.

Фрагмент анімації коливання будівлі та мозаїка горизонтальних переміщень показано на рис. 1.

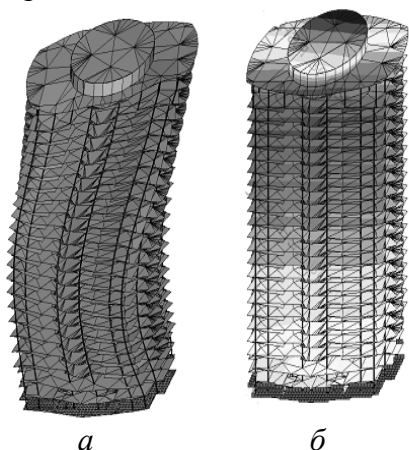


Рис. 1. 3D-вигляд будинку:

a – коливання будівлі;

б – горизонтальні переміщення від динамічного навантаження

Результати розрахунку на динамічне навантаження в програмному комплексі МОНОМАХ наведено в таблиці.

Частоти та періоди коливань у разі зміни товщини плити перекриття

Товщина плити, мм	Горизонтальні переміщення, м	Форма коливань	Частота, Гц	Період, с
200	0,011	1	0,67	1,487
		2	0,80	1,257
		3	0,85	1,100
		4	2,93	0,341
		5	3,43	0,291
300	0,008	1	0,81	1,236
		2	0,92	1,088
		3	0,96	1,044
		4	3,25	0,307
		5	3,85	0,259
400	4,1e-004	1	0,65	1,529
		2	0,77	1,291
		3	0,83	1,206
		4	2,85	0,350
		5	3,33	0,300

Коефіцієнт динамічності β рахували за умови:

– за $T_i \leq 0,5$ с

$$\beta_i = 1 + 4T_i;$$

– за $0,5 \text{ с} < T_i \leq 3 \text{ с}$

$$\beta_i = 3;$$

– за $T_i > 3 \text{ с}$

$$\beta_i = 8 / T_i^{9/10}.$$

Використовуючи дані з таблиці та коефіцієнти β (1), побудовано графіки залежності коефіцієнта динамічності β від періоду коливань T_i та перерізу плит перекриття (рис. 2).

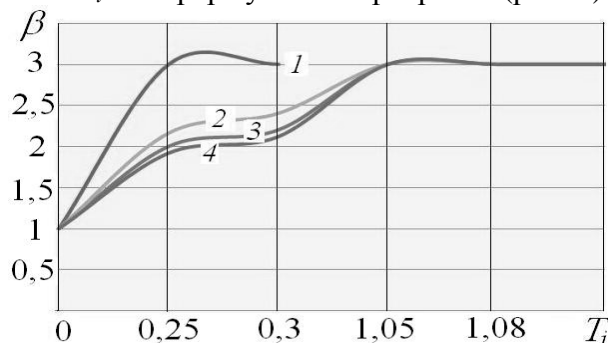


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів динамічності β від періоду коливань T_i та перерізу плит перекриття:

1 – при $T \approx 300$ мм;

2 – норматив;

3 – при $T \approx 200$ мм;

4 – при $T \approx 400$ мм

Із рис. 2 видно, що зі збільшенням товщини плити перекриття коефіцієнт динамічності β має тенденцію до зменшення. Отже, будівля стає стійкішою до вібрацій.

У процесі експерименту визначено, що зі збільшенням товщини плит перекриття спостерігається зменшення значення горизонтального переміщення.

Для зменшення інтенсивності вібрації від руху потяга метрополітену як огорожувальні конструкції можна використовувати залізобетонні і металевий шпунт без ґрунтової насипки, але з ізоляцією й засипкою ґрунту за шпунтом.

Оскільки відстань від метрополітену до будівлі 50 м, рекомендується застосовувати дворядні перемички циліндричної форми. Така конструкція (рис. 3) сприйматиме основне динамічне навантаження від метрополітену, а фундамент – залишкові значення.

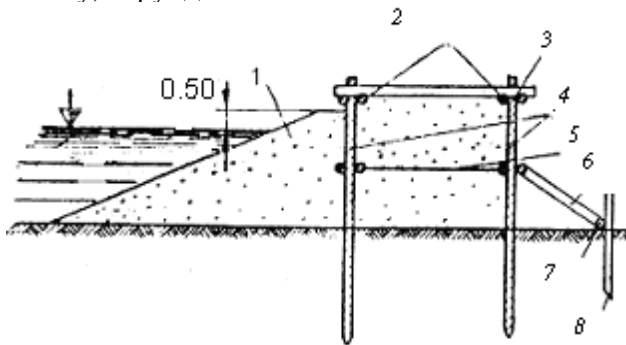


Рис. 3. Дворядна шпунтова перемичка:

- 1 – відсипка з піщаного ґрунту;
- 2 – поздовжні схватки;
- 3 – поперечні схватки;
- 4 – шпунт (паля);
- 5 – металевий тяж;
- 6 – підкоси;
- 7 – поздовжній лежень;
- 8 – упорні палі

Для ефективного захисту рекомендується проектувати глибину залягання шпунта (палі) не менше 15 м [1].

Довжина шпунтової стінки повинна бути не меншою 1,2 довжини будинку і розташовуватися вздовж ліній метрополітену з урахуванням щільності міської забудови, але не більше, ніж на 10 м від споруди.

Під час розрахунку будівлі з ґрунтовою основою необхідно враховувати нелінійну роботу ґрунту та його дійсні фізико-механічні властивості. Це пов'язано з тим, що ґрунтова основа має неоднорідну структуру.

Висновки

У великих містах виникає ряд проблем, пов'язаних з будівництвом висотних будівель поряд з лініями метрополітену в умовах щільної забудови. Підвищивши жорсткість будівлі, можна зменшити горизонтальне переміщення її верхівки – споруда стає більш стійкою до вібрації.

Для гасіння коливань застосовують огорожуючі конструкції в зоні впливу метрополітену, зокрема, шпунтову стінку, яка пропускатиме до будівлі лише залишкові динамічні навантаження.

Література

1. Гладков И.М. Особенности динамической реакции здания повышенной этажности на вибрации, возбуждаемые движением поездов метрополитена / И.М. Гладков // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – №4. – С. 24–25.
2. Корнеев Б.Г. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: справ. проектировщика / Б.Г. Корнеев, И.М. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
3. ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
4. Jensen J. Railway Gazette International, Metro Report / J. Jensen, O. Larsen. – 2000. – P. 11 – 13.
5. МОНОМАХ. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие / С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий и др.. – К.: Факт, 2007.

Стаття надійшла до редакції 10.06.10.