

УДК 624.042.8:69.032.22

Башинський Я.В.², асистент

y.bashik@gmail.com, ORCID 0000-0002-0875-8647

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ВІБРАЦІЙНИЙ ВПЛИВ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Стаття присвячена чисельному дослідженню вібраційного впливу метрополітену неглибокого залягання на несучі конструкції багатопверхового будинку. Були визначені вертикальні і горизонтальні складові віброшвидкості на поверхні ґрунту. Проведено аналіз будівлі з порівнянням НДС металевого і залізобетонного каркаса.

Ключові слова: динамічні навантаження; вібраційний вплив; віброшвидкість; метрополітен.

Актуальність дослідження. Транспортні динамічні навантаження безумовно впливають на несучі конструкції будівель, що знаходяться поблизу великих магістралей з майже безперервним транспортним потоком, в зв'язку з їх високою інтенсивністю і широким поширенням.

При цьому провідна роль належить рейковому (наземному і підземному) транспорту - поїздам, трамваю та метрополітену, що обумовлено, в першу чергу, істотно меншим демпфуванням коливань при передачі їх ґрунту від сталевого колеса через жорстку систему "рейка-шпала". Певну роль відіграє також вага джерела і присутність ударних імпульсів в спектрі впливу за рахунок ударів колеса об рейки на стиках.

Метрополітен, як і всякий рейковий транспорт, є джерелом підвищеного рівня вібрації і шуму. Нові лінії метро часто будуються в сформованій міській забудові, що викликає зростання вібрації в прилеглих до трас або розташованих над ними будівлях. І також нові будинки будуються в місцях пролягання метрополітену.

² © Башинський Я.В.

Проблема захисту будівель від вібрацій, що виникають при русі поїздів метрополітену, набула особливої актуальності в останні роки, коли при будівництві нових ліній метрополітену почали прокладати, як правило, тунелі мілкового закладення. Цей спосіб прокладки тунелів має техніко-економічні переваги в порівнянні з прокладкою тунелів глибокого закладення і в даний час є основним. У багатьох випадках вібрація всередині будівель значно перевищує допустимі норми з точки зору фізіологічного впливу на людей і нормальної роботи високоточного обладнання.

Аналіз досліджень. Питання динамічних розрахунків будівель і споруд розглянуті в роботах Я.М. Айзенберга, В.А. Банаха, В.С. Дорофєєва, В.В. Кулябко, Я.Г. Пановко, Дж. Пенза, Б.С. Расторгуєва та інших. Питання стійкості, віброзахисту і динамічного гасіння коливань розглянуті в роботах Д. Вейнера, А.А. Зевіна, В.А. Івовіча, В.Г. Подільського, Л.М. Резнікова, А.І. Цейтліна та ін. Питання моделювання динамічних дій і їх впливу на будівельні конструкції освячені в роботах М.С. Барабаш, А.С. Городецького, Б.Г. Демчина, А.С. Дехтяр, Е.С. Дехтярюка, А.А. Диховичного, В.К. Егупова, К.В. Егупова, В.С. Кукунаєва, А.І. Лантух-Лященко, Ю.П. Лінченко, Н.Г. Мар'єнкова, та інших. Разом з тим, в даний час відсутні загальноприйняті єдині підходи і методики розрахунків будівельних об'єктів при різних видах динамічних навантажень і впливів, в різних умовах і на різних стадіях життєвого циклу будівель і споруд.

Постановка задачі. У статті наведено приклад чисельного моделювання впливу вібрацій на будівлю, що знаходиться поблизу метрополітену. Також проведено дослідження впливу метрополітену мілкового закладення на несучі конструкції будівлі [1, 3]. Аналіз результатів чисельного експерименту показав, що проблема безпеки будівлі, що зводиться в зоні впливу метрополітену, або ж прокладання метрополітену в зоні ущільненої забудови, де знаходяться експлуатовані будівлі, є однією з першочергових завдань, яке необхідно вирішити перш, ніж починати будівництво. Потрібно виконати точне моделювання об'єкта будівництва, дослідження та облік накопичення пошкоджень при циклічних постійно діючих вібраційних навантаженнях, дослідження

ймовірності структурного руйнування, дослідження здатності пошкоджених конструктивних елементів сприймати зовнішнє навантаження.

Транспортні динамічні навантаження викликають вищі форми власних горизонтальних коливань будівлі і, як наслідок, вертикальні коливання (коливання з площини) перекриттів саме верхніх поверхів. Цю особливість динамічних відгуків елементів конструкції будівель підвищеної поверховості необхідно враховувати до початку будівництва об'єкта і при проведенні контрольних вимірів динамічних характеристик вже зведеного будинку.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення методики розрахунку висотних будівель, що дозволяє враховувати вібраційний вплив більш ефективно.

Аналіз впливу метрополітену. При проектуванні траси метрополітену мілкого закладання належить враховувати, що при піщаних ґрунтах вібропереміщення фундаменту будівлі на відстані, наприклад, 40 м від тунелю на частоті 31,5 Гц відрізняються від вібропереміщення фундаменту будівлі, розташованої поблизу тунелю, більш ніж в 10 разів. При щільних ґрунтах (супесях, суглинках) амплітуди коливань фундаментів знижуються на відстані 40 м менше ніж в два рази.

Реакція будівлі і характер поширення вібрації залежить не тільки від рівня і спектрального складу коливань, що передаються через ґрунт, а й від динамічних характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, від конструктивної системи. Головним чином, це стосується частот власних горизонтальних коливань будівель і вертикальних коливань елементів перекриттів, типу ґрунту, відстані до джерела вібрації та ін.

При будівництві будівлі поблизу ліній метрополітену (особливо неглибокого залягання) необхідно враховувати, що частота вібрації оброблення тунелю метро становить від 28-35 Гц (збірне оздоблення) до 60-70 Гц (монолітне оздоблення) і через ґрунт передається на фундамент будівлі. В результаті домінуючі частоти, що передаються на будівлі, можуть бути від 20 до 80 Гц. Час однократного впливу зовнішнього вібрації визначається швидкістю

поїзного складу і становить 8-15 секунд. Основним джерелом вібрації є удар при проходженні колеса поїзного складу через рейковий стик. Виникає при цьому вібрація оброблення тунелю гасне до моменту проходу через стик наступного колеса.

На цей вплив накладається полічастотна вібрація, що виникає від неідеально гладкої поверхні матеріалу колеса і рейки, від деформованих коліс, тощо. На фоні такого впливу переважаючим є вібраційний вплив в діапазоні частот 25-50 Гц. Якщо ця частота коливань близька до власної частоти оздоблення, то навіть з урахуванням фільтруючих особливостей ґрунту, самої будови колії, незалежно від того віброізолювано шлях чи ні, хвильове випромінювання може посилюватися. Тому, в ситуації з метро не можна говорити про одну переважаючу частоту в загальному випадку. У зв'язку з цим, не вдаючись у конструктивні особливості оздоблення і верхньої будови колії, можна прийняти робочий діапазон частот вібрацій від метро 20-70 Гц. Характерною особливістю зазначеного діапазону є те, що власні частоти перекриттів будівель, як правило, потрапляють в цей діапазон. [2]

Для порівняння, інтенсивність коливань ґрунтів поблизу метрополітену відповідає 6-7 бальному землетрусу. Карта в інституті геофізики говорить про те, що землетрус магнітудою 5 балів на більшості територій України відбувається раз в 100 років, 6-бальний - раз в 5 тисяч, тобто ймовірність виникнення землетрусу в зоні Києва і Київської області досить мала. При цьому постійно діюча вібрація від рухомого транспорту, але з відносно малою амплітудою коливань може призвести до пошкоджень несучих конструкцій, тріщин, якщо не застосовувати заходи, навіть до руйнувань.

Вертикальні і горизонтальні складові віброшвидкості на поверхні ґрунту визначаються за формулою:

$$v_{1,2}(i) = \sqrt{v_R^2 + v_{1,2l}^2};$$

Тут v_R – віброшвидкість, викликана хвилею Релея, що обчислюється за формулою:

$$v_R = \sqrt{\frac{R_0}{H_0}} \cdot v_{\max} \cdot \exp(-\beta \cdot k_R \cdot x);$$

β – коефіцієнт загасання в ґрунті;

k_R – число хвилі Релея;

$v_{1,2l}$ – відповідні проєкції віброшвидкості, викликані поздовжньої хвилею в ґрунті, обчислюють за формулою:

$$v_{1,2l} = \sqrt{\frac{R_0}{\sqrt{x^2 + H_0^2}}} \cdot \sqrt{v_{1\max}^2 + v_{2\max}^2} \cdot \exp(-\beta \cdot k_1 \sqrt{x^2 + H_0^2});$$

Причому H_0 – глибина, на якій знаходиться лоткова частина оздоблення тунелю;

x – віддалення від поздовжньої осі тунелю;

R_0 – характерний розмір, який представляє собою мінімальне з $D/2$ - половини ширини тунелю;

$k_R = \frac{c_1}{\omega}$ – відношенню швидкості поздовжніх хвиль в ґрунті

до кругової частоти;

$v_{1,2\max}$ – максимальні величини віброшвидкості на лотковій частині оздоблення тунелю;

v_{\max} – максимальне з них;

Значення найбільш низькочастотних складових транспортних динамічних навантажень часто близькі до значень власних частот коливань більшості будівель, які нерідко знаходяться в межах 2-8 Гц. У зонах дії метрополітену іноді спостерігається додаткове просідання будинків на 50-150 мм.

Зазначені обставини визначили основні напрямки даної статті:

1. Аналіз будівель на дію зовнішнього вібраційного впливу, викликаного рухомим складом метрополітену, з використанням програмного комплексу ЛІРА САПР на основі МСЕ, по якій можна,

можливо досліджувати будівлі будь-якого типу для оцінки та інженерного прогнозу поведінки конструкцій.

2. Попередня оцінка і аналіз динамічних явищ в будівлях підвищеної поверховості на стадії проектування, будівництва і експлуатації з метою запобігання негативних ефектів впливу на елементи конструкції і людей вібрацій, викликаних рухом поїзду метрополітену.

3. Порівняння металевого каркаса і залізобетонного каркаса на вплив динамічних навантажень від дії метрополітену, за допомогою програмного комплексу ЛПА САПР.

Розрахунок задачі методом скінченних елементів. Для дослідження була обрана 18-поверхова будівля торгівельно-офісного комплексу (рис.1). для порівняння зміни внутрішніх зусиль несучих конструкцій будівлі, при динамічних навантаженнях, каркас був виконаний в двох варіантах: металевий каркас в першому варіанті і залізобетонний другому.

Розрахунок був здійснений в програмному комплексі ЛПА-САПР з використанням методів прямого інтегрування рівнянь руху. Це ітераційні крокові методи, які дозволяють отримати компоненти напружено деформованого стану в будь-який момент часу з урахуванням нелінійності.

Ґрунт змодельовано плоскими фізично нелінійними універсальними кінцевими елементами. Чисельний експеримент проведено для металевого і залізобетонного каркаса будівлі, досліджується вплив метрополітену неглибокого закладення з періодичністю проходження складу $t = 8$ сек.

У таблиці 1 наведені результати зміни зусиль в контрольних точках (колони 1-го і 18-го поверху) при вібраційному впливі від руху метрополітена.

Металевий каркас краще сприймає динамічні навантаження від рухомого складу метрополітену. [5] Найбільш схильні впливу від динамічних навантажень - верхні поверхи будівлі, перекриття нижніх поверхів будівлі не мають значного спектра відгуку на частоти в діапазоні вище 20 Гц, перекриття верхніх поверхів будівлі

реагують на високочастотний спектр 35-45 Гц і можуть навіть резонувати.

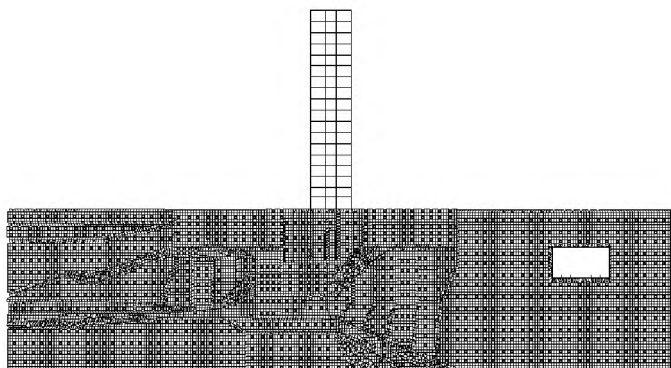


Рис.1. Тестова задача з реальною моделлю ґрунту

*Таблиця 1
Зміни зусиль M , N , Q в колонах конструкції*

Секунда	Елемент	M	N	Q
0	Колона 1-ого поверху металевої конструкції	8.922	-301.377	6.507
1		8.879	-301.303	6.472
2		8.965	-301.591	6.544
3		8.923	-301.510	6.493
4		8.876	-301.096	6.493
5		9.068	-301.962	6.602
6		8.730	-300.729	6.366
7		9.181	-302.365	6.711
8		8.621	-300.788	6.263
0	Колона 18-ого поверху металевої конструкції	12.090	-15.908	8.179
1		12.087	-15.912	8.178
2		12.079	-15.921	8.169
3		12.071	-15.865	8.168
4		12.125	-15.988	8.178
5		12.015	-15.757	8.161
6		12.186	-16.097	8.189
7		11.995	-15.732	8.163
8		12.137	-16.028	8.166
0	Колона 1-ого	5.544	-379.048	3.377

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (21) 2018

1	поверху залізобетонної конструкції	5.517	-378.895	3.354
2		5.513	-379.161	3.351
3		5.591	-378.933	3.426
4		5.549	-379.335	3.367
5		5.455	-378.903	3.327
6		5.713	-379.097	3.478
7		5.364	-378.617	3.257
8		5.704	-378.937	3.487
0	Колона 18-ого поверху залізобетонної конструкції	15.374	-19.141	10.695
1		15.436	-19.227	10.733
2		15.382	-19.149	10.716
3		15.403	-19.197	10.699
4		15.299	-19.080	10.640
5		15.447	-19.133	10.794
6		15.288	-19.173	10.561
7		15.423	-18.978	10.819
8	15.372	-19.327	10.599	

Висновки. Таким чином, при динамічному впливі від руху поїздів метрополітену існує близькість власних частот високих форм згинальних коливань будівель підвищеної поверховості і власних частот вертикальних коливань перекриттів верхніх поверхів. Цю особливість динамічних відгуків елементів конструкції будівель підвищеної поверховості необхідно враховувати до початку будівництва об'єкта, застосовуючи додаткові захисні заходи, а також, застосовувати матеріали для несучих конструкцій будівель, які менше піддаються динамічним навантаженням.

У подальшій перспективі досліджень є аналіз поведінки несучих конструкцій висотних будівель при постійному тривалому динамічному навантаженні від руху метрополітену через певний період часу [4], за допомогою програмного комплексу ЛІРА САПР і розробка методики розрахунку будівлі на дію зовнішнього вібраційного впливу від метрополітену.

Використана література:

1. Барабаш, М.С. Влияние динамических нагрузок метрополитена на напряженно-деформированное состояние несущих

конструкцій / М.С. Барабаш, Я.В. Башинский, Ю.В. Гуца // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць.– К.: НАУ, 2016. – Вип.2(16). – С.17-27

2. Ковальчук, О.А. Особенности динамической реакции здания повышенной этажности на вибрации, возбуждаемые движением поездов метрополитена /О.А. Ковальчук, М.А. Дашевский // Промышленное и гражданское строительство. –2004.– № 4.–С.24, 25.

3. Барабаш М.С. Численное моделирование воздействия динамических нагрузок метрополитена на близстоящие здания / М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, В. Овчарова // Містобудування та територіальне планування: Наук-техн. збірник. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 48. – С. 46–52.

4. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства: Монография / Мария Сергеевна Барабаш. – К. : Изд-во «Сталь», 2014. – 301 с.

5. Барабаш М. С. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій / М. С. Барабаш, С. В. Козлов, Д. В. Медведенко. – К. : НАУ, 2012. – 572 с.

Abstract

The article is devoted to a numerical study of the vibrational influence of subway on the load-bearing structures of a high-rised building. Vertical and horizontal components of the vibration velocity on the soil surface were determined. The building was analyzed with a comparison of the stress-strain states of metal and reinforced concrete frames.

Key words: dynamic loads; vibration influence; vibration speed; underground.

Аннотация

Статья посвящена численному исследованию вибрационного воздействия метрополитена неглубокого залегания на несущие конструкции многоэтажного здания. Были определены вертикальные и горизонтальные составляющие виброскорости на поверхности почвы. Проведен анализ здания с сравнением НДС металлического и железобетонного каркаса.

Ключевые слова: динамические нагрузки; вибрационное воздействие; виброскорость; метрополитен.

Стаття надійшла до редакції у квітні 2018р.