

УДК 624.19.059:22 624.154.9

Петренко В. Д., д.т.н., проф., Кулаженко Є. Ю., аспірант
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДІВ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ ОБ’ЄКТІВ ПІДЗЕМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

На ділянці Куренівсько-Червоноармійської лінії метрополітену в м. Києві від станції «Либідська» до станції «Виставковий центр» експлуатується лінія метрополітену мілкового закладення, динамічний вплив від якої здійснюється у вигляді вібрації від рухомого складу метропоїздів, що передається через рейко-шпальну решітку, оправа та далі на ґрунтовий масив [3]. Це явище негативно впливає на сусідні будівлі, які розташовані на відстані 8...10 м від контуру оправи лівого перегінного тунелю.

Головне питання цієї проблеми – це визначення найбільш ефективного методу зниження рівня вібрації від експлуатації метрополітену без припинення його експлуатації та розрахунок різних варіантів влаштування захисних заходів для стабілізації системи «оправа-ґрунтовий масив».

Для чисельного вирішення поставленої задачі було розроблено методику, в якій використано прогресивний метод скінченних елементів у динамічній постановці. Для цього проводилося моделювання конструкції в програмному комплексі та подальший його розрахунок.

Вирішення поставленої задачі ускладнюється тим, що вплив рухомого складу метрополітену є динамічним, тобто, для аналізу методів зниження вібрації, при варіюванні типу та властивостей заповнювача слід виконувати не тільки визначення деформованого стану ґрунту в основі тунелю, викликаного тимчасовим навантаженням, але й розрахунок динамічних характеристик системи «оправа-ґрунтовий масив-захисний екран», таких як форми та відповідні їм частоти власних коливань [1, 2].

Для зменшення вібраційного впливу метропоїзду на оточуючий масив пропонується споруджувати свердловини у вигляді відсічного екрану з різними типами заповнювачів, які суттєво відрізняються деформаційними характеристиками [5]. Розроблений відсічний екран представляє собою два ряди свердловин з відповідним заповнювачем діаметром 600 мм та глибиною до 20 000 мм, які розташовані на відстані в 1200 мм від контуру оправи перегінного тунелю.

Алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану оправи, яка деформується із оточуючим ґрунтовим масивом, в якому враховується наявність в конструкції тунелю оправи, навколо якої знаходиться ґрунтовий масив, – базується на визначенні деформацій оправи з ґрунтовим масивом в умовах плоскої задачі теорії пружності [6]. Числове визначення деформацій

виконується методом скінченних елементів виходячи з варіаційного принципу Лагранжа [4], коли на дійсних переміщеннях повна потенційна енергія даного об'єму ґрунтового середовища досягає мінімуму.

Для дослідження НДС перегінного тунелю та системи «кріплення-захисний екран», створено просторову скінченно-елементну модель, яка побудована із ізопараметричних скінченних елементів типу призма (34 та 36 типи елементів у комплексі SCAD) із узгодженими вузлами. В моделі застосовувалися елементи таких розмірів в площині XZ: $0,24 \times 0,24$ м та $0,3 \times 0,3$ м (більш 95 % від об'єму СЕ схеми – весь ґрунтовий масив); $0,1 \times 0,25$ м (2,5 % від схеми – моделювання шару нагнітання за оправу) та тетраедричні елементи $\approx 0,5 \times 0,5$ м (2,5 % від об'єму схеми – елементи спрягання між оправою та масивом). Невеликий виступ моделі у її верхньому лівому куті моделює початок фундаменту існуючої будівлі і є характерною точкою, відносно якої визначаються параметри деформованого стану (рис. 1).

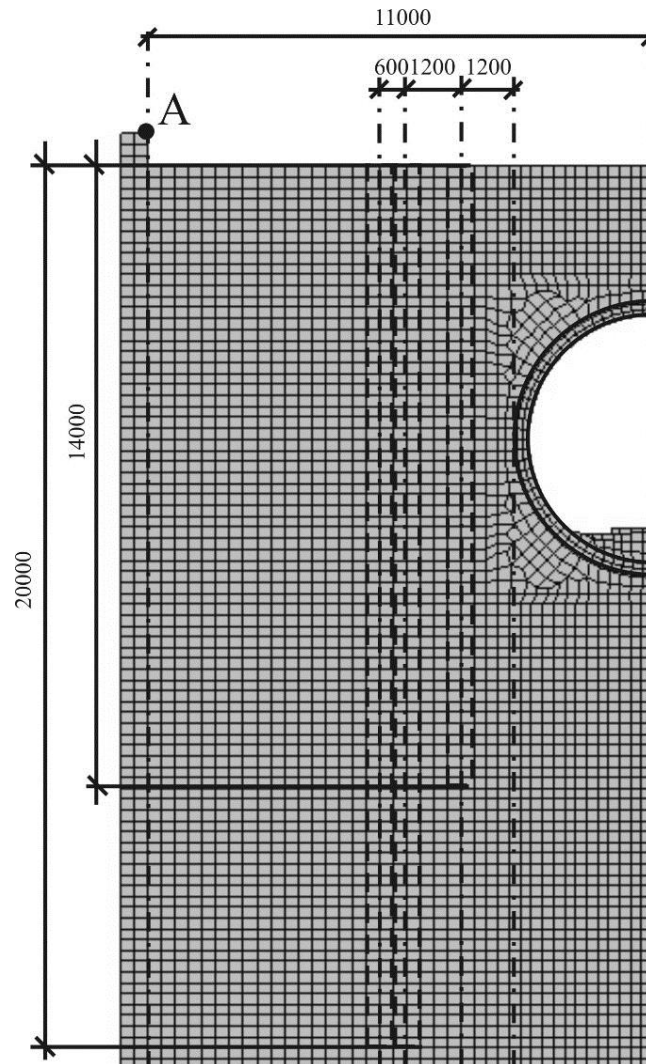


Рис. 1. СЕ-модель із основними геометричними параметрами

Скінченно-елементна модель, що розроблена для дослідження, має наступні розміри: вздовж осі X – 23,0 м, осі Y – 1,0 м, осі Z – 25,8 м. Модель було створено таким чином, щоб відтворити всі геометричні параметри та особливості сумісної роботи системи «кріплення-захисний екран». При цьому було обрано зовнішній діаметр оправи з залізобетонних блоків – 6,04 м, внутрішній діаметр – 5,6 м.

Моделям були надані деформаційні властивості, які отримані з реальних досліджень матеріалів. Оточуючий масив складено піском крупним, щільним, над цим шаром розташований шар насипного ґрунту, цементно-піщаний розчин для нагнітання, залізобетонна оправа (бетон В30).

Дослідження проведено з ціллю визначення впливу тимчасового навантаження від потягу метро на деформований стан системи «оправа-відсічний екран». До розрахунку моделі були навантажені власною вагою конструкцій та оточуючого масиву, а також навантаженням від метропотягу, яке було прикладене на рівні підшви рейки, оскільки було змодельовано не всю верхню будову колії, а тільки нижню її частину.

Для моделювання відсічного екрану та визначення найефективнішого варіанту його заповнення було проведено варіативний розрахунок, який включає в себе розрахунок різних матеріалів для заповнення свердловин.

Параметрами, які піддано варіації для того, щоб з'ясувати їх найефективніші значення, є деформаційні характеристики заповнювача свердловин відсічного екрану. В динамічній постановці було розраховано шість варіантів закріплення ґрунтового масиву за допомогою:

- ґрунтоцентних паль з піщано-цементного розчину з армуванням (jet-палі струменевої цементації) з модулем деформації $E=50\,000$ МПа, коефіцієнтом Пуассона $\mu = 0,2$ та щільністю $\rho = 2,3$ т/м³ (Варіант 1);
- піщано-цементний розчин без армування. Модуль деформації $E=20\,000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,21$; щільність $\rho=2,2$ т/м³ (Варіант 2);
- керамзит (сухий, 10...20 мм). Модуль деформації $E=7\,000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,4$; щільність $\rho = 0,35$ т/м³ (Варіант 3);
- керамзит (вологий, 10...20 мм). Модуль деформації $E = 6\,300$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,35$; щільність $\rho = 0,45$ т/м³ (Варіант 4);
- крихта гумова (КР 0-0,1; КР 1,0-3,0; КР 3,0-5,0;). Модуль деформації $E = 5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,49$; щільність $\rho = 0,46$ т/м³ (Варіант 5);
- повітря. Модуль деформації $E = 0,06$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,49$; щільність $\rho = 0,00122$ т/м³ (Варіант 6);

Після створення моделей було проведено серію розрахунків для різних варіантів закріплення оточуючого масиву та без нього (Варіант 0) за допомогою методу скінченних елементів. Якісний аналіз переміщень розрахунків свідчить про те, що всі варіанти відсічного екрану впливають на розподіл горизонтальних та вертикальних деформацій в різній мірі.

При розрахунку модального аналізу масиву без тимчасового навантаження було визначено частоти власних коливань при їх різних формах.

Величини частот власних коливань при вертикальній формі коливань в залежності від деформаційних параметрів заповнювача відсічного екрану змінюються в межах від 1,41 Гц до 1,53 Гц.

Колівання даних моделей є низькочастотними. Дані значення відповідають коливанням тунельних оправ і саме тому застосування варіантів із більшою жорсткістю дозволяє підвищити значення частоти першої форми з 1,41 Гц до 1,53 Гц. Кількісний аналіз переміщень моделей свідчить про те що максимальні переміщення моделей по Варіантах 1-4 на відміну від Варіанту 0 зменшилися: горизонтальні в 1,12...1,5 рази (а в варіанті 5 і 6 збільшилися в 1,11 рази).

Крім того, був проведений аналіз переміщень в крайній точці будинку на обрізі фундаменту. При якісному аналізі було відмічено, що наявність відсічного екрану та jet-паль струменевої цементациї призводить до значного розподілу горизонтальних та вертикальних переміщень (таблиця 1).

Таблиця 1

Величини переміщень вздовж осей

Вісь	Варіант						
	0	1	2	3	4	5	6
oX	0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0	-0,1
oY	-3,4	-3,2	-2,1	-2,1	-2,1	-3,4	-3,5

Із аналізу видно, що більш ефективним заповнювачем свердловин відсічного екрану є той, що має високі деформаційні властивості (в межах 6300...20 000 МПа). Проте перший варіант у виконанні jet-паль, який має величину модуля деформації 50 000 МПа не є найефективнішим за рахунок того, що вплив відсічного екрану є максимальним, якщо він знаходиться в зоні активного поширення переміщень біля будівель та споруд і таким чином може позитивно їх зменшувати.

В роботі проведено статико-динамічний аналіз моделей, результати якого дозволили порівняти величини та напрямки поширення горизонтальних та вертикальних переміщень. В залежності від матеріалу заповнення свердловин відсічного екрану видно, що найбільш ефективним варіантом закріплення є варіант з заповнювачем з керамзиту, який також відмічається більшою економічною ефективністю в порівнянні з використанням цементно-піщаного розчину.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вознесенский, Е. А. Поведение грунтов при динамических нагрузках / Е. А. Вознесенский. – Москва: Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.

2. Дашевский, М. А. Распространение волн при колебании тоннелей метро / М. А. Дашевский. // Строительная механика и расчет сооружений, 1974. – № 5. – С. 29-34.
3. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания сооружений / И. А. Кудрявцев. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 274 с.
4. Петренко, В. Д. Численный анализ влияния граничных условий модели системы «сооружение–основание» МКЭ / В. Д. Петренко, Т. А. Селихова, А. Л. Тюткин. // Науковий вісник Національного гірничого університету, Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – №11. – С. 51-56.
5. Петренко, В. И. Надежность способов закрепления грунтов при эксплуатации перегонных тоннелей киевского метрополитена / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, Г. К. Савинков // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Д., 2010. - Вип. 35. – С. 135-138
6. Тюткін, О. Л. Математичне моделювання впливу рухомого складу на конструкцію пілонної станції метрополітену / О. Л. Тюткін. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – Вип. №7 (135). – С. 86-90.