

Тютюкін О. Л., Руденко К. Ю.

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Результати комплексного аналізу конструкції колонної станції мілкового закладення

Метою роботи є розробка методологічних основ статико-динамічного розрахунку станцій метрополітену. Науковими результатами наданої роботи є результати статичного та модального аналізу моделей станції колонного типу мілкового закладення із отриманням форм та частот коливань, а також дослідження конструкції у випадку падіння гелікоптеру.

Ключові слова: комплексний аналіз, станція метрополітену, напружено-деформований стан, статичний аналіз, модальний аналіз, падіння гелікоптеру, частота коливань, форма коливань.

Постановка проблеми. Останнім часом в світі та Україні особливу увагу приділяють створенню нових підземних споруд [1-3]. До теперішнього часу в світовій практиці підземного будівництва відбулись якісні зміни, які можна характеризувати як сталий розвиток освоєння нової техніки та високих технологій підземного будівництва: розроблені принципово нові способи проходки в різних гірничо-геологічних умовах, розроблено та впроваджене нове високоефективне щитове обладнання, створені автоматизовані комплекси для буріння шпурів та установки кріплення в тунелях, нові матеріали і типи тунельних оправ.

Організація освоєння підземного простору мегаполісів в останні роки використовує сучасні форми та способи організації будівництва підземних об'єктів. Виробничу систему такої організації та процес її функціонування можна вважати заданими, якщо відомі всі вхідні елементи, об'єм та якість послуг, а також всі види робіт, що виконуються в процесі будівництва міських підземних споруд. В концепції освоєння підземного простору, створення моделей підземних споруд та дослідження їх напружено-деформованого стану (НДС) є найважливішим та відповідальним процесом [2, 3], причому наявний рівень розрахункового досвіду дозволяє проводити ці дослідження на базі комплексного аналізу.

Аналіз існуючих рішень. Як наочний приклад комплексного аналізу, в роботі прийнята найбільш розповсюджена на лініях метрополітенів України, колонна станція мілкового закладення. З досвідом проектування та будівництва збірна конструкція станції такого типу покращувалась в будівельному та експлуатаційному відношеннях: зменшені геометричні розміри окремих елементів, а також змінено крок колон до 6 м [3], але наукового обґрунтування таких рішень виконано не було. У рамках даної роботи, автори пропонують досліджувати конструкцію згідно з концепцією комплексного аналізу, що дозволяє отримати найбільш репрезентативні результати поведінки станційної конструкції при її взаємодії з масивом.

В комплексний аналіз даного об'єкта входять: 1. Статичний аналіз. 2. Модальний аналіз. 3. Динамічний аналіз випадку падіння гелікоптеру. В рамках комплексного аналізу також проведено дослідження такої станції у випадку прогресуючого руйнування, однак об'єм досліджень не дозволяє викласти ці результати в наданій роботі.

Слід відмітити, що важливою частиною комплексного аналізу постає динамічний аналіз [4], який вперше проводиться для станцій такого типу на основі об'ємних моделей, що дозволяють враховувати вплив приєднаних мас ґрунту оточуючого масиву.

Методика проведення числових експериментів. Для реалізації методики статичного розрахунку станції метрополітену мілкового закладення колонного типу розроблено ряд моделей, які відповідають алгоритму комплексного аналізу. Для найбільшої точності у відтворенні реальної взаємодії станційної конструкції розроблено просторову модель за допомогою об'ємних скінченних елементів (СЕ), яка застосовувалася у подальших статико-динамічних розрахунках.

СЕ-модель побудована на основі реальних геометричних розмірів, властивостей ґрунтів та залізобетону при застосуванні розрахункового комплексу Structure CAD for Windows (SCAD) [5] (рис. 1).

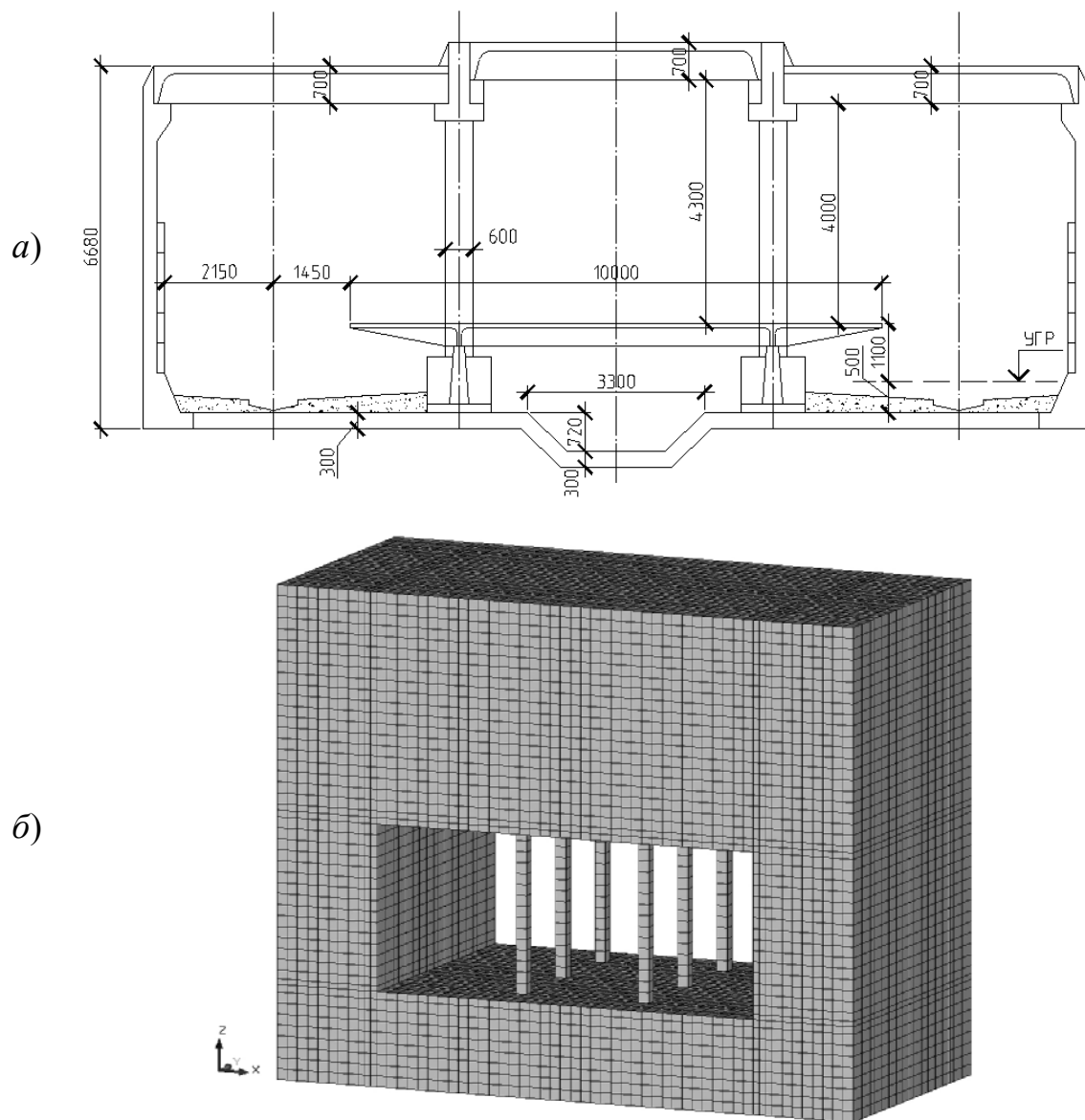


Рис. 1. – Скінченно-елементна модель трисклепінчастої станції колонного типу: а) конструктивна схема; б) загальна СЕ-модель

Аналіз результатів. В якості частини комплексного аналізу проведено розрахунок станційної конструкції на дію власної ваги. В цій статті для розрахунку на міцність наведені результати лише по конструкції станції.

Розподіл напружень в конструкції станції є стандартним і не суперечить класичним уявленням розподілу напружень в конструкціях із кутами і колонами (рис. 2). Як видно із аналізу рис. 2 перевірку на міцність слід провести в точках концентрації, які вказані на рис. 3.

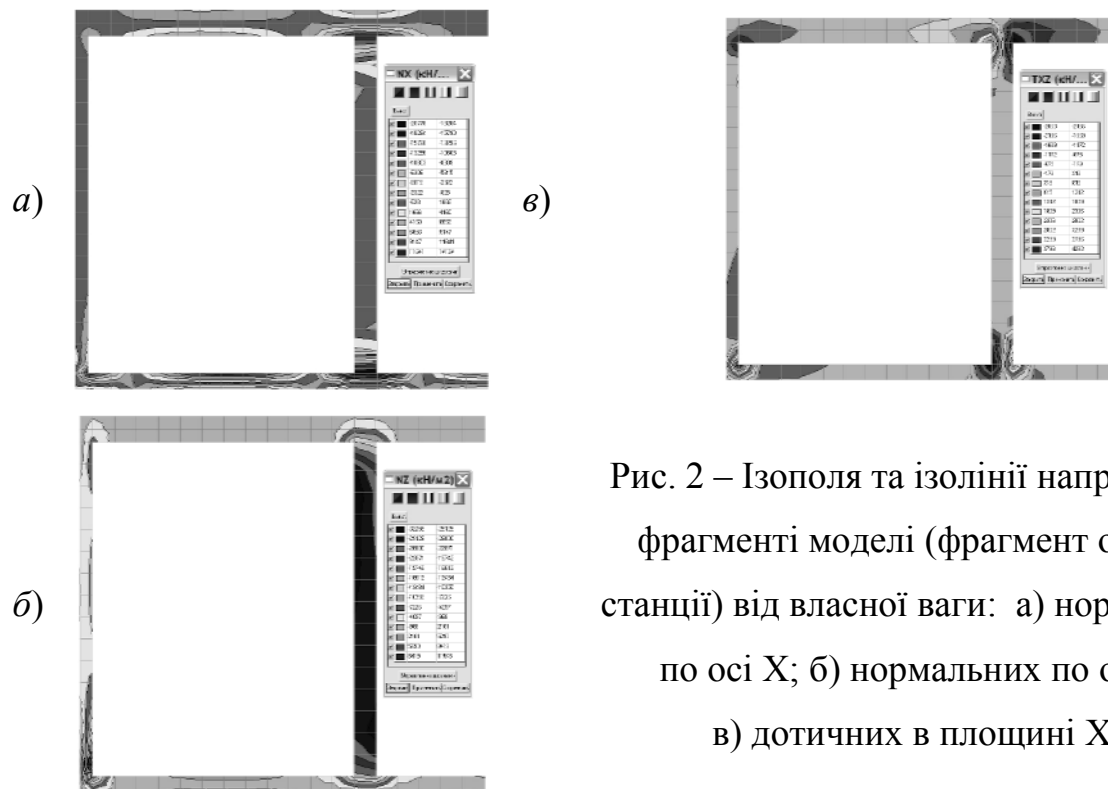


Рис. 2 – Ізополя та ізолінії напружень в фрагменті моделі (фрагмент оправи станції) від власної ваги: а) нормальних по осі X; б) нормальних по осі Z; в) дотичних в площині XZ

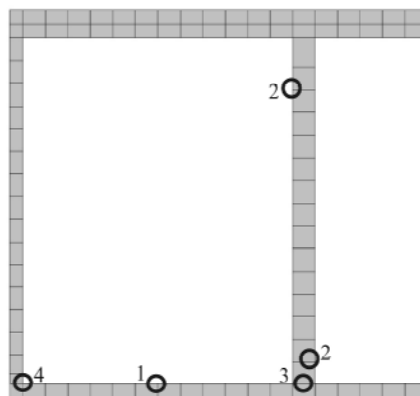
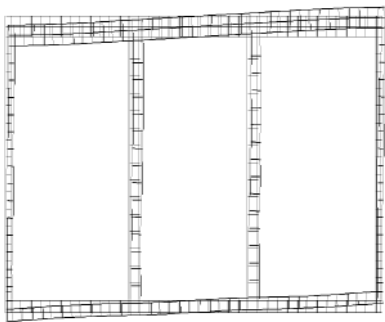


Рис. 3 – Точки концентрації напружень в конструкції станції

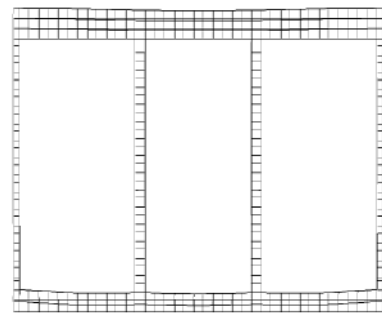
Розрахунок за еквівалентними напруженнями (енергетична четверта теорія міцності) свідчить, що для визначених точок вони та коефіцієнти запасу складають: точка 1 – 17,3/1,2; точка 2 – 32,7/0,6; точка 3 – 32,7/0,6; точка 4 – 35,4/0,6. Як видно, еквівалентні напруження сягають в точках 2-4 межових значень у 23,0 МПа, що свідчить про те, що в бетоні колони можуть виникати тріщини, тому слід для цих елементів слід підвищити клас бетону (наприклад, до В40), або замінити залізобетон елементів на метал, таким чином значно покращивши ситуацію із загальним деформуванням

конструкції. Причиною такої ситуації є те, що в досліджуваній конструкції крок колон змінено із стандартного (4 м) на збільшений в 6 м, що призводить до значного перенапруження колон.

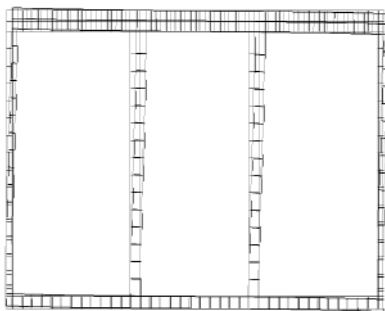
Для проведення модального аналізу станційної конструкції із урахуванням приєднаних мас оточуючого ґрунту також застосуємо СЕ-модель на основі об'ємних елементів. Після проведеного модального аналізу його результатами є форми і частоти власних коливань (рис. 4).



1-я власна форма, частота 1,98 Гц



2-я власна форма, частота 2,05 Гц



3-я власна форма, частота 2,55 Гц

Рис. 4 – Перші форми і відповідні їм частоти власних коливань скінченно-елементної моделі

Як видно із аналізу рис. 4 діапазон частот власних коливань знаходиться в 1,98...2,55 Гц, що відповідає низькочастотним коливанням. Така ситуація цілком нормальна для важкої та жорсткої станційної конструкції, яка взаємодіє із приєднаними масами оточуючого ґрунту. Можливим процесом, який може спричинити резонансні явища в станційній конструкції, є землетрус, коливання якого знаходяться в межах від 1 до 30 Гц. Всі інші частоти вище 30 Гц спричиняють станційній конструкції локального впливу.

Для випадку екстремального ударного навантаження був обраний варіант падіння гелікоптеру Мі-8 (вертикальний удар). Якщо розглядати ґрунтовий масив окремо, то дія падіння характеризується воронкоподібним

розподіленням і напружень деформацій (для економії місця в статті не наведений значний масив презентаційних даних). Отримані значення еквівалентних напружень при падінні наближуються до межі міцності залізобетону, але не перевищують їх. Це свідчить про те, що вертикальний удар від гелікоптеру станційна оправа витримає. Значення коефіцієнтів запасу (5,4...44,7) також свідчить про те, що умова міцності виконується.

Висновки. В рамках комплексного аналізу виконано статичний аналіз станційної конструкції, результати якого свідчать, що еквівалентні напруження сягають межових значень, тобто в бетоні колони при кроці колон 6 м виникають тріщини, тому слід для цих елементів слід підвищити клас бетону або замінити залізобетон елементів на метал. Результати модального аналізу свідчать про низькочастотний характер коливань, а для випадку падіння гелікоптера еквівалентні напруження наближуються до межі міцності залізобетону, але не перевищують їх.

Список використаної літератури

1. Фролов, Ю. С. Метрополитены на линиях мелкого заложения. Новая концепция строительства [Текст] / Ю. С. Фролов, Ю. Е. Крук. – М.: ТИМР, 1994. – 202 с.
2. Гарбер, В. А. Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения. В 2-х томах [Текст] / В. А. Гарбер. – М.: АО ЦНИИС, 1996, т.1. – 170 с.
3. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 с.
4. Бакиров, Р. О. Динамический расчет и оптимальное проектирование подземных сооружений: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Р. О. Бакиров, Ф. В. Лой. – М.: Стройиздат, 2002. – 464 с.
5. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – К.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.