

## УДК 624.012.41

В. Т. ГУЗЧЕНКО – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, viktor-huzchenko@mail.ru  
М. А. ЛІСНЕВСЬКИЙ – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, listik-007@mail.ru

# ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЯК ГАРАНТІЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ВИСОКИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІДПІРНИХ СТІН НА АВТОДОРОГАХ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

*Статтю представив д. фіз.- мат. н., проф. В. І. Гаврилюк*

### Постановка проблеми

Безпека руху на автомобільних дорогах є ключовим завданням при їх експлуатації. За обсягами перевезень вантажів та пасажирів автомобільні дороги займають одне з провідних місць серед усіх видів транспорту. У зв'язку з постійним підвищенням інтенсивності руху автотранспорту в межах України та в міждержавному сполученні, зростанням кількості одиниць транспортних засобів і швидкості руху автомобілів приводить до необхідності підвищення заходів безпеки при експлуатації доріг.

Будівництво автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах має низку важливих особливостей, пов'язаних із поведінкою цих ґрунтів при спорудженні підпірних стін і в процесі їх експлуатації. Специфіка будівництва підпірних стін на автомобільних дорогах у складних інженерно-геологічних умовах полягає у тому, що до дорожньої конструкції в цілому пред'являють спеціальні вимоги. Конструктивно-технологічне рішення підпірної стіни повинне забезпечити стійкість насипів. Осідання засипки й основи в експлуатаційний період не повинне викликати неприпустимої зміни поздовжнього і поперечного профілів, пружні прогини і коливання конструкції від статичних і динамічних дій транспортного навантаження мають бути обмежені умовами тривалої міцності дорожнього одягу [1].

### Аналіз

Складні інженерно-геологічні умови - це сукупність характеристик компонентів геологічного середовища досліджуваної території, які впливають на проектування, будівництво і експлуатацію підпірних стін. До таких умов відносять і обмежені міські території.

При спорудженні підпірних стін основа земляного полотна і придорожня смуга не повинна піддаватися тривалому зволоженню. У всіх випадках необхідно забезпечити швидке і безперешкодне відведення від підпірних стін атмосферних опадів і захист земляного полотна від поверхневих і ґрунтових вод. Для зменшення просадочності природних ґрунтових основ рекомендується: ущільнення, зміцнення і попереднє замочування ґрунтів.

При проектуванні підпірних стін на слабких основах слід призначати обґрунтовані розрахунками спеціальні заходи, що забезпечують можливість використання слабких ґрунтів в основі. Поперечні профілі підпірних стін повинні розроблятися з урахуванням довготривалості експлуатації.

Будівництво та реконструкція підпірних стін у складних інженерно-геологічних умовах вимагає постійного зниження вартості робіт, економії дорожньо-будівельних матеріалів, максимального використання позитивних властивостей ґрунтів, особливо місцевих некондиційних.

Пальовий фундамент забезпечує надійні технічні характеристики підпірних стін завдяки своїм властивостям: достатній міцності при малих деформаціях, високій адгезії з ґрунтом, довговічності, а також стійкості до дії хімічно агресивних середовищ [2].

Завдяки застосуванню пальових фундаментів при зведенні підпірних стін підвищується стійкість та надійність дорожніх конструкцій, збільшується міжремонтні терміни.

### Виділення невирішених раніше частин проблеми

При будівництві підпірних стін у складних інженерно-геологічних умовах необхідно досягти: підвищення стійкості і міцності підпірних стін; зниження витрат традиційних будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження строків будівництва; поліпшення умов відсіпання і ущільнення засипки; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення строків служби підпірних стін.

### Мета

Для оцінки міцності і стійкості підпірних стін, зменшення обсягу земляних робіт при їх зведенні і економії землі при будівництві запропоновано доцільний метод аналізу надійності споруди.

### Основний матеріал

Для виконання поставленої мети була розглянута ділянка автомобільної дороги на залізнично-мостового переході через р. Дніпро – Автодорожня розв'язка з Наддніпрянським шосе – підпірні стіни споруди № 7П запроектовані із використанням уніфікованих залізобетонних конструкцій кутового профілю із блоків типу 1СВ на пальовому фундаменті. Дорога розташована в дорожньо-кліматичній зоні У-ІІ. Висота підпірної стіни 6.5 м (рис. 1). Ширина верху земляного полотна становить 13 м. Засипку

пазух стін виконано дренажним піщаним ґрунтом з коефіцієнтом фільтрації 2 м/добу і об'ємною вагою 2 т/м<sup>3</sup>. Ущільнення ґрунту виконано шарами товщиною 30 см із зволоження водою,  $K_{уш}=1,02$ .

Підпірна стіна і модель підпірної стінки і її зв'язок з ґрунтом представлені на рис. 1 і рис. 2. Підпірна стіна опирається безпосередньо на ґрунт, представлений пісками і супісками на ростверках, які об'єднують палі, які спираються на ґрунти представлені пісками з прошарками супіску і мілким піском середньої щільності з різною ступеню водонасичення і супісками з домішками органічних речовин. Дані деформаційних характеристик ПГЕ відповідають матеріалам інженерно-геологічних досліджень. Залягання ґрунтової води – 6 метрів від денної поверхні. Рівень води – постійний, без коливань.

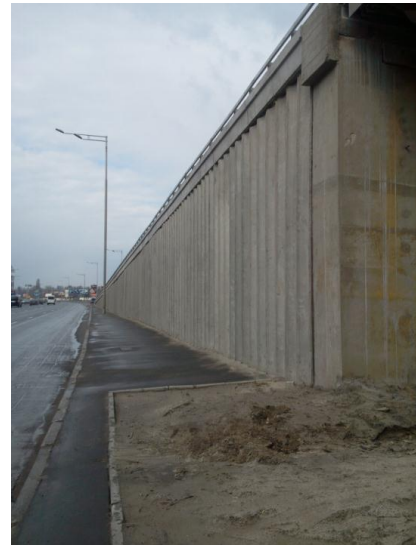


Рис. 1. Конструкція підпірної стінки

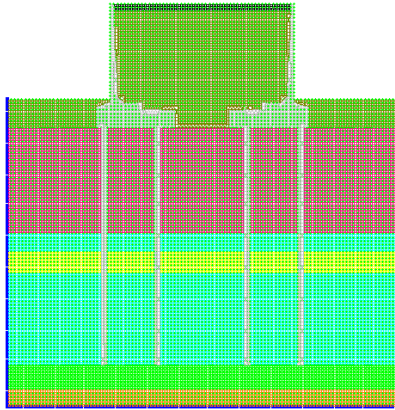


Рис. 2. Модель підпірної стінки.  
 Висота підпірної стіни Н=6.5м

Детально характеристики ґрунтів наведені в табл. 1 (Відомість ґрунтів).

Таблиця 1

Характеристики жорсткостей

Тип жорсткості	Ім'я	Параметри (жорсткість -(т,м) ширина -(см) розпад. вага -(т,м))
1	Пластина Н 100 (Матеріал засипки)	E=5000, V=0.3, H=100, Ro=2
2	Пластина Н 100 (ІГЕ 2)	E=1000, V=0.3, H=100, Ro=1.8
3	Пластина Н 100 (ІГЕ 10в)	E=3100, V=0.3, H=100, Ro=1.66
4	Пластина Н 100 (ІГЕ 12б)	E=900, V=0.3, H=100, Ro=1.77
5	Пластина Н 100 (ІГЕ 18)	E=2500, V=0.3, H=100, Ro=1.87
6	Пластина Н 100 (ІГЕ 17в)	E=4000, V=0.3, H=100, Ro=1.98
7	Пластина Н 100 (Залізобетонні елементи підпірної стіни)	E=3.5e+006, V=0.2, H=100, Ro=2.5
8	Пластина Н 100 (Шар асфальтобетону)	E=2.3e+006, V=0.2, H=100, Ro=2.45

Розрахунок стійкості і міцності підпірної стіни автомобільної дороги на залізнично-мостовому переході через р. Дніпро – Автодорожня розв'язка з Наддніпрянським шосе був виконаний енергетичним методом і методом скінчених елементів (МСЕ) за допомогою програмного комплексу ЛІРА 9.6.: відсіків. Визначалося еквівалентне напру-

ження на основі всіх компонентів з метою визначення найбільш небезпечних перерізів.

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2} \leq [\sigma],$$

де  $\sigma_x$  та  $\sigma_z$  – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та Z;  $\tau_{xz}$  – дотична компонента в площині XZ;  $[\sigma]$  – розрахунковий опір матеріалу, для бетону В30 розрахунковий опір  $[\sigma] = 17,0$  МПа.

У розрахунку підпірної стіни методом скінчених елементів (МСЕ) на основі ЛІРА 9.6. усі розміри підпірної стіни прийняті згідно проектної документації спорудження.

Скінченно-елементна модель (СЕ-модель) має деформаційні граничні умови, а саме заборони переміщень по межах моделі: по вертикальних межах – заборони переміщень по осям X та Y, по нижній межі – заборони переміщень по осям X, Y та Z. До верхньої межі моделі граничні умови не прикладаються. Висота моделі узятя із міркувань сумісної роботи паль та оточуючого масиву, який складений вологими пісками різних фракцій високої стислості.

СЕ-моделі надаються деформаційні характеристики – модуль пружності E та коефіцієнт Пуассону  $\nu$ , R0 – питома вага матеріалу. Після завдання жорсткостей СЕ-моделі слід задати значення навантажень у сполученнях.

Аналіз деформованого стану. Аналізуючи горизонтальні переміщення підпірної стіни, вони склали близько 3 мм. Загальний висновок після аналізу деформованого стану дає змогу зробити висновок про значну стійкість інженерної споруди, а кількісні значення переміщень (до 5 мм) свідчать про незначний рівень деформування.

Аналіз напруженого стану.

З'ясовано, що найбільш впливовим з позиції розвитку високого рівня переміщень та напружень є 3 сполучення, тому аналіз напруженого стану проводиться лише для

нього. Картина напруженого стану в підпірній стіні не складна.

Найбільш напруженим перерізом в підпірній стінці в усіх трьох варіантах є переріз, де шар асфальтобетону сполучається із залізобетонною конструкцією стінки, причому еквівалентні напруження будуть відшукуватися в двох точках перерізу: 1 точка – внутрішня сторона стінки (із сторони засипки) та 2 точка – зовнішня сторона стінки (вільна сторона стінки). Також відшукаємо запас міцності як відношення розрахункового опору бетону до еквівалентного напруження; цей запас свідчить у скільки разів менше еквівалентне напруження.

Точка 1:  $N_x = -2,91$  МПа,  $N_z = -4,59$  МПа,  $T_{xz} = -2,84$  МПа. Еквівалентне напруження – 8,19 МПа. Запас міцності – 2,1 рази.

Точка 2:  $N_x = 2,47$  МПа,  $N_z = 6,98$  МПа,  $T_{xz} = 0,69$  МПа. Еквівалентне напруження – 8,57 МПа. Запас міцності – 2,0 рази.

### Висновки

Висновок числового аналізу свідчить про відповідну несучу здатність всіх трьох варіантів підпірної стінки на всі розглянуті види сполучень з відповідним запасом міцності (2 рази) при незмінному стані інженерно-геологічних умов, наявності нормальної експлуатації і не перевищенні навантаженнями навантаження НК-100.

При проектуванні конструкцій підпірної стіни були виконані наступні завдання:

- проведена оцінка стійкості і міцності підпірної стіни;
- порівняння методів розрахунку міцності конструкції;

Пальовий фундамент сприймає частину напруження розтягу. Цим створена можливість підвищити загальну стійкість підпірної стіни; збільшити висоту і скоротивши тим самим, площу земель, що відводяться під будівництво.

Досвід застосування підпірних стін на пальовому фундаменті у будівництві показує, що вони доволі ефективні. Однак треба враховувати, що ефективність їх застосування залежить від тривалості та інтенсивності експлуатації дороги, жорсткості, ме-

ханічних і реологічних властивостей ґрунту і земляного полотна, а також умов розташування, глибини і характеру розташування арматури у конструкції підпірних стін.

### Бібліографічний список

1. Савенко, В. Я. Актуальність проблеми оптимального конструювання дорожніх одягів автомобільних доріг [Текст] / В. Я. Савенко, С. В. Гавриленко, В. В. Петрович // Зб. наук. пр. НТУ: Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 63. – Київ: НТУ. – 2001. – С. 16-20.
2. Тимофеева, Л. М. Армирование грунтов. Теория и практика применения. Ч. 1. Армированные основания и армогрунтовые подпорные стены [Текст] / Л. М. Тимофеева. – Пермь: ППИ, 1991. – 478 с.
3. Полевиченко, А. Г. Расчет свайной подпорной стены для укрепления неустойчивых откосов и склонов [Текст] / А. Г. Полевиченко – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 25 с.
4. Байнатов, Ж. Б., Базанова И. А. Новые конструкции и методы расчета противооползневых сооружений [Текст] / Ж. Б. Байнатов, И. А. Базанова. – Г.У. Казселезащита, Алматы: – 2010 – С. 73.

**Ключові слова:** пальова підпірна стіна, ґрунтовий масив, пальовий фундамент, тривимірний скінчено-елементний аналіз, пружні прогини, динамічні впливи, стійкість і надійність конструкції.

**Ключевые слова:** свайная подпорная стена, почвенный массив, свайный фундамент, трехмерный конечно-элементный анализ, упругие прогибы, динамические воздействия, устойчивость и надежность конструкции.

**Keywords:** pile retaining wall, soil array pile foundation, three-dimensional finite-element analysis, elastic deflections, dynamic effects, stability and reliability of the design.

Надійшла до редколегії 13.11.2013