

применять в термореновации жилых зданий старой застройки наиболее выгодную оптимальную толщину материала.

Полученные зависимости представляют возможность проектировщику выбрать оптимальную толщину утеплителя (в данном случае – минеральной ваты и пенополистирола) для данного климатического района и типа здания (см. табл. 1).

**Выводы.** Для типовых жилых зданий подобраны оптимальные толщины утеплителя в зависимости от климатического района при действующих нынешних ценах на энергоресурсы.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель.- К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006 – 70 с.
2. [http://penoplast.com.ua/price\\_penoplast.html](http://penoplast.com.ua/price_penoplast.html)
3. <http://ibud.ua/?cat=catalogmain&itm=512>

УДК 625.1

### ПРОЕКТУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРІГ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ PLAXIS

*к.т.н. Ковальов В.В.*

*Академія митної служби України.*

В даний час в зв'язку з необхідністю підвищення в Україні швидкості руху транспорту потрібно при експлуатації пред'являти більш жорсткі умови до стану транспортних споруд взагалі, та до однієї з основних транспортних споруд – земляного полотна.

Також збільшення обсягів вантажоперевезень на південному напрямку залізниці приводить до необхідності проектування і будівництва другої колії, з добудовою земляного полотна до існуючого.

Одним з основних факторів при проектуванні та експлуатації земляного полотна доріг є визначення стійкості укосів [1, 2, 3, 4].

Питання визначення стійкості укосів стає ще більш актуальним при будівництві транспортних споруд в складних умовах: при проектуванні земляного полотна на косогах; поруч з річками та водоймами (на стійкість земляного полотна суттєвий вплив здійснює зміна рівня води).

Також при проектуванні земляного полотна в складних умовах необхідно вирішувати задачі розрахунку стійкості не тільки на остаточному етапі будівництва але й на проміжних етапах.

Неналежне проектування та будівництво земляного полотна, а також його неналежна експлуатація приводить до катастрофічних наслідків: втраті стійкості укосів земляного полотна з порушенням безпеки руху залізничного та автомобільного транспорту (рис. 1). Це також веде до підвищених грошових витрат на відновлення роботи транспорту.

В сучасному будівництві земляного полотна доріг для підвищення жорсткості верхньої будови та підвищення стійкості все більш широко застосовується армування штучними матеріалами [5, 6, 7, 8].

Таким чином при проектуванні доріг необхідно вирішувати задачі стійкості укосів та схилів (з урахуванням армування), особливо в складних будівельних умовах.

Однієї з програм, що дозволяє з достатнім рівнем надійності вирішувати наведені вище задачі є розроблений у Нідерландах програмний комплекс PLAXIS [9, 10], який постійно вдосконалюється.

PLAXIS являє собою пакет скінченно-елементних програм для двовірних і тривірних розрахунків напружено-деформованого стану, стійкості складних геотехнічних систем, композитних ґрунтових систем з урахуванням динамічного впливу і т.д.

При моделюванні геотехнічних об'єктів PLAXIS враховує нелінійну і залежну від часу поведінку ґрунту, а також розвиток гідростатичного і надлишкового порових тисків у ґрунті.

При розрахунках стійкості укосів земляного полотна доріг застосовується модель Plane strain.

Модель Plane strain (Плоска деформація) використовується для протяжних споруд з погонним навантаженням, що мають відповідний напружений стан і схему навантаження на визначеному відрізку довжини в напрямку, перпендикулярному поперечному перерізу споруди.





2)  
 Рис. 1. Приклад втрати стійкості укосу земляного полотна  
 1) залізничного, 2) автомобільного

Додатковим модулем до програми PLAXIS є програма Dynamics Module і програма PlaxFlow.

Програма Dynamics Module призначена для розрахунків напружено-деформованого стану споруди методом скінченних елементів при динамічних навантаженнях (гармонічних, імпульсних, сейсмічних) в умовах плоскої задачі.

Програма PlaxFlow, призначена для фільтраційних розрахунків насичених і ненасичених водою ґрунтових масивів методом скінченних елементів в умовах плоскої задачі.

Моделювання різних ґрунтових умов у PLAXIS створюється за допомогою наступних основних моделей:

- 1) Mohr-Coulomb model - пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- 2) Hardening Soil model - модель ґрунту, що зміцнюється (пружно-пластична модель гіперболічного типу), застосовується для моделювання поведінки піску, гравію;
- 3) Soft Soil model - модель слабого ґрунту (модель типу Cam-Clay);
- 4) Soft Soil Creep model - модель слабого ґрунту з урахуванням ефекту повзучості (включає моделювання другої стадії повзучості), може використовуватися для моделювання залежної від часу поведінки слабких ґрунтів;

5) Jointed Rock model - модель анізотропного тріщинуватого скельного масиву, може використовуватися для моделювання шаруватих гірських порід.

Також є можливість моделювання армування тонкими плоскими елементами, що працюють тільки на розтягування та моделювання тунелів кругового і не кругового перетину.

У програмі можна моделювати послідовність технологічних операцій будівництва, темпів зведення, умов роботи земляного полотна.

Розрахунок стійкості укосів у PLAXIS здійснюється шляхом зниження характеристик міцності ґрунту [9, 10]. Цей процес називається Phi-c reduction.

Коефіцієнт стійкості визначається як відношення реальної міцності на зсув до обчисленої мінімальної міцності, необхідної для рівноваги.

$$\text{Коефіцієнт стійкості} = \frac{S_{\text{max.available (макс. можливий)}}}{S_{\text{needed for equilib. (необх. для рівноваги)}}} \quad (1)$$

Для стандартної умови Кулона:

$$\text{Коефіцієнт стійкості} = \frac{\sigma_n \tan \varphi + c}{\sigma_n \tan \varphi_r + c_r} \quad (2)$$

де  $c$  і  $\varphi$  – вхідні параметри міцності;

$\sigma_n$  – фактичне нормальне напруження;

$c_r$  і  $\varphi_r$  – параметри приведеної міцності, що достатні для підтримки рівноваги.

Вищеписаний принцип є основою методу Phi-c reduction, що використаний у програмі PLAXIS для розрахунків коефіцієнта загальної стійкості земляного полотна. У такому підході знижуються зчеплення і кут тертя.

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \sum M_{sf} \quad (3)$$

Програмний комплекс Plaxis дозволяє виконувати розрахунки не тільки остаточної стійкості збудованого земляного полотна, але й стійкості на різних етапах будівництва.

На будь-якому етапі розрахунків можливий візуальний аналіз розвитку напружено-деформованого стану в будь-якому елементі розрахункової схеми за допомогою таких графічних матеріалів як таблиці, епюри, ізолінії, графіки, анімаційне представлення.

Як приклад на рисунку 2 приведений розрахунок стійкості земляного полотна доріг.

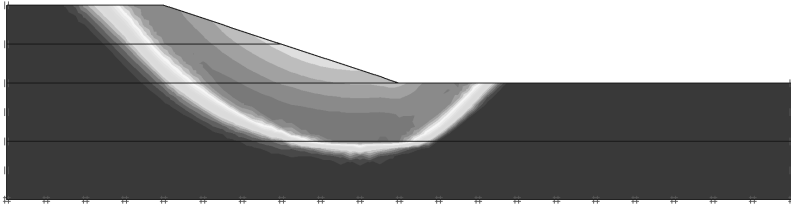


Рис. 2 Приклад розрахунку стійкості земляного полотна програмним комплексом PLAXIS

### Висновки.

1. Програмні комплекси, що базуються на методах скінченних елементів, мають переваги у швидкості вирішення задач, у варіативності початкових умов та зміни критеріїв.

2. Програмний комплекс PLAXIS дозволяє вирішувати задачі розрахунку стійкості армованого земляного полотна, розташованого в складних будівельних умовах. Можливо виконувати розрахунок стійкості не тільки вже збудованого земляного полотна, але й на кожному етапі будівництва. Також можливо враховувати підтоплення споруди та динамічний на неї вплив.

3. Практична доцільність використання методу розрахунку стійкості (коефіцієнта стійкості) програмою PLAXIS доведена рядом робіт, що пов'язані з визначенням стійкості споруд у разі зсувних процесів у ґрунті. Корелятивні оцінки роботи споруд вказують на доцільність використання даного методу у розрахунках на стійкість земляного полотна доріг.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л.І. Дяченко, Г.П. Кислий, В.О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ "Арт-прес", 2001. – 104 с.
2. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Фришман М.А., Хохлов И.Н., Титов В.П. Земляное полотно железных дорог: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1972. - 288 с.
4. Грицык В.И. Расчеты земляного полотна железных дорог: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. М.: УМК МПС, 1998. 520 с.
5. Свинцов Е.С., Шмелев В.А. Армогрунтовые конструкции на октябрьской дороге // Путь и путевое хозяйство №3, 2004. – С.32-33
6. Яковлева Е.В. Влияние армирования на деформации основной площадки. // Железнодорожный транспорт. 1998. - № 11. – С.24-26.
7. ВСН 205-87. Ведомственные строительные нормы. Проектирование земляного полотна железных дорог из глинистых грунтов с применением геотекстиля. ЦНИИС. М., 1987.
8. Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна: ЦП-4591/МПС СССР, Главное управление пути. — М.: Транспорт, 1989. 47 с.
9. Brinkgreve, R.B.J. PLAXIS 2D Version 8 / Delft University of Technology & PLAXIS b.v, The Netherlands
10. Brinkgreve, R.B.J. and Bakker, H.L. (1991). Non-linear finite element analysis of safety factors. Proc. 7th Int. Conf. on Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia, 1117-1122.