

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СПОРУД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ

В. В. Ковальов, к. т. н.

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

Ключові слова: *земляне полотно залізниць, метод скінченних елементів, підвищення швидкості.*

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Відповідно до «Стратегії розвитку залізничного транспорту України на період до 2020 року» одним з актуальних напрямків є збільшення провізної і пропускної спроможності та підвищення швидкості руху. Все це приводить до необхідності пред'являти нові вимоги до проектування та роботи залізничного споруд. Найважливішими спорудами залізниць є земляне полотно, тунелі, мости і т.д.. Від надійної роботи транспортних споруд залежить безпечний та безперервний рух залізничного транспорту.

Для забезпечення нормальної та безперервної роботи залізниці необхідно мати у своєму розпорядженні надійний науковий апарат, що дає можливість досліджувати стан земляного полотна, визначати напруження, що виникають в земляному полотні та його основі, достовірно розраховувати стійкість укосів земляного полотна, а також можливість визначати параметри армування земляного полотна. При проектуванні залізничних споруд потрібно застосування нових методів розрахунку, що дозволяють більш широко і достовірно враховувати нелінійну поведінку ґрунту в умовах складного напруженого стану, вплив рухомого складу на стан транспортних споруд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування нелінійних методів розрахунку, що базуються на рішенні пружно-пластичних задач, дає можливість максимального наближення математичної моделі до реальних умов [2, 3].

Одним з перспективних методів розрахунку є методи скінченних елементів, граничних елементів і т.д. Сучасні програми ґрунтовані на цих методах дають можливість отримувати конкретні рішення, визначати в кожній точці основи напружено-деформований стан і враховують такі важливі умови як: фільтраційний тиск, динамічні навантаження, урахування штучних споруд в тілі земляного полотна і т.д.

До основних нелінійних моделей відносяться: 1) нелінійно-пружна модель, 2) модель пружно-пластичного середовища, 3) теорія пластичної течії і 4) моделі, що базуються на концепції критичного стану ґрунту. Для одержання нелінійних рішень користуються одним із способів: 1) метод нелінійної пружності із січною матрицею жорсткості; 2) метод початкових напружень; 3) метод нелінійної пружності з дотичною матрицею жорсткості (метод Ньютона-Рафсона).

Вибір методики розрахунку і конкретної моделі залежить від задачі, яку необхідно вирішити. Основою кожної програми є певна модель ґрунту. Конкретні властивості матеріалу виявляються в співвідношеннях, за допомогою яких обчислюються напруження як функція переміщень або швидкості переміщень. Визначаючи співвідношення, накладають обмеження на можливі процеси деформування матеріалів. Тому оцінку і вибір програмного забезпечення необхідно проводити з залученням певних вимог, які встановлюються для рішення конкретної проблеми.

Результати оцінки НДС земляного полотна при впливі рухомого складу є: коефіцієнт стійкості укосів земляного полотна, можлива поверхня руйнування ґрунтового масиву, деформація, напруження, зусилля в утримуючих спорудах, зусилля в прошарках армування, а також повинна враховуватися нелінійність деформування, дилатація, вид напруженого стану.

Виклад матеріалу. В даний час створена досить велика кількість різних програм для розрахунків ґрунтових споруд.

Однієї з достатньо поширених у світі програм – є розроблений у Нідерландах програмний комплекс PLAXIS [4].

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

Для виконання розрахунків в умові тривимірної задачі використовуються самостійні програми PLAXIS: 3D Foundation і 3D Tunnel.

PLAXIS 3D Tunnel дає можливість вирішувати складні задачі, що виникають на етапах будівництва, експлуатації, та реконструкції залізничних тунелів (рис. 1).

Програма PLAXIS 3D Tunnel дозволяє: автоматично створювати тривимірну розрахункову геометричну модель; моделювати системи навантаження; моделювати основні технологічні етапи будівництва тунелів; моделювати зони взаємодії ґрунту і конструкції і т.д.

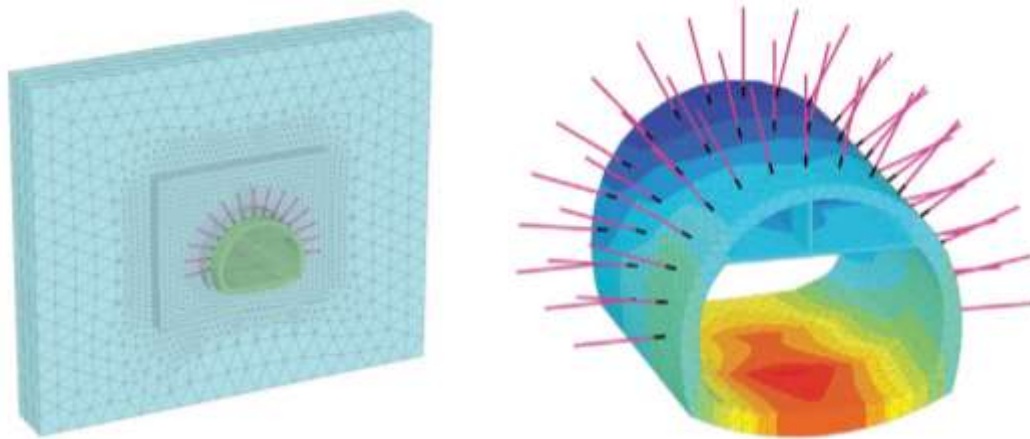


Рис. 1. Тунель з анкерами

При моделюванні геотехнічних об'єктів в умові двовірної задачі використовується PLAXIS V9, що враховує нелінійну і залежну від часу поведінку ґрунту, розвиток гідростатичного і надлишкового порових тисків у ґрунті, роботу інженерних конструкцій, армування земляного полотна.

Виконання двовірного аналізу в PLAXIS V8 можливо за допомогою двох моделей (рис. 2): модель Plane strain (Плоска деформація) і модель Axisymmetry (Вісесиметрична).

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 (z-напрямок). Передбачається, що переміщення в напрямку z дорівнюють нулю.

Модель Axisymmetry (Вісесиметрична) використовується для споруд що мають круглий обрис з більш-менш постійним радіальним перетином і рівномірною схемою навантаження щодо центральної осі, для яких передбачається, що в кожному з радіальних напрямків деформація і напружений стан є однаковими.

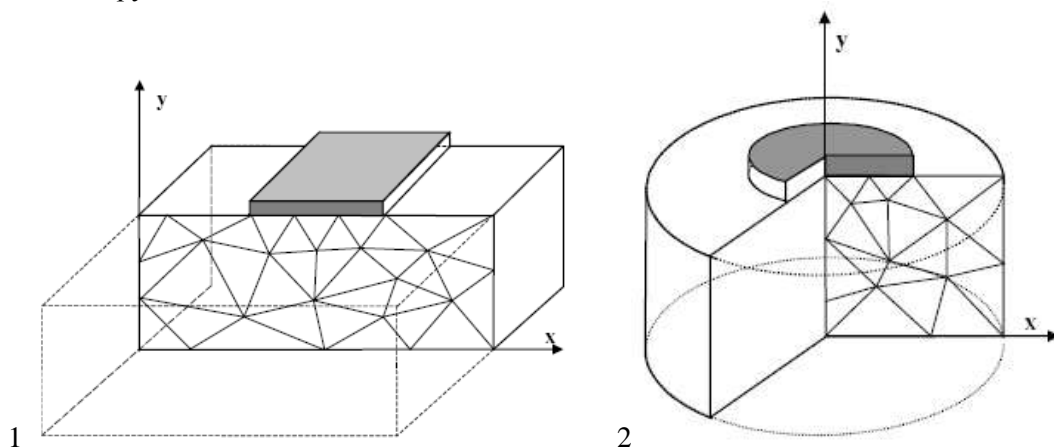


Рис. 2. Моделі плоскої (1) і вісесиметричної (2) деформацій

Додатковим модулем до програми PLAXIS V8 є програма Dynamics Module і програма PlaxFlow. Програма Dynamics Module призначена для розрахунків напружено-деформованого стану масив при динамічних навантаженнях (гармонічних, імпульсних, сейсмічних) в умовах плоскої й вісесиметричної задач.

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 V9 створюється за допомогою наступних 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 набором готових спеціальних елементів: плитних елементів для моделювання гнучких плоских конструкцій; стрижневих елементів для моделювання анкерів, розпірок, стійок, розкосів; елементів оброблення для моделювання тунелів кругового і не кругового перетину; тонких плоских елементів для моделювання армування. У програмі можна моделювати послідовність технологічних операцій будівництва, темпів зведення, умов роботи основи і конструкції.

Розрахунок стійкості укосів земляного полотна залізниць програмою PLAXIS здійснюється шляхом зниження характеристик міцності ґрунту [4]. Цей процес називається Phi-c reduction.

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

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

Приведений принцип є основою методу Phi-c reduction, що використаний у програмі PLAXIS для розрахунків коефіцієнта загальної безпеки. У такому підході знижуються зчеплення і тангенс кута тертя.

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \sum M_{sf} \quad (2)$$

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 3 приведений розрахунок стійкості укосів залізничного земляного полотна армованого геотекстилем.

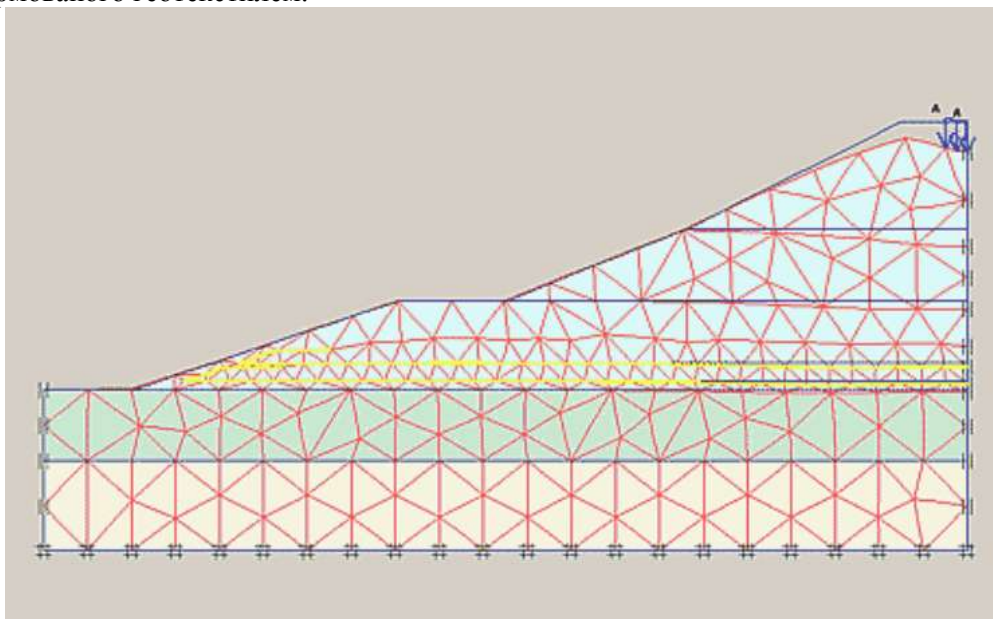


Рис. 3 Приклади рішення задачі стійкості земляного полотна

На рисунку 4 наведено приклад розрахованих зусиль, що виникають в армованому прошарку земляного полотна.

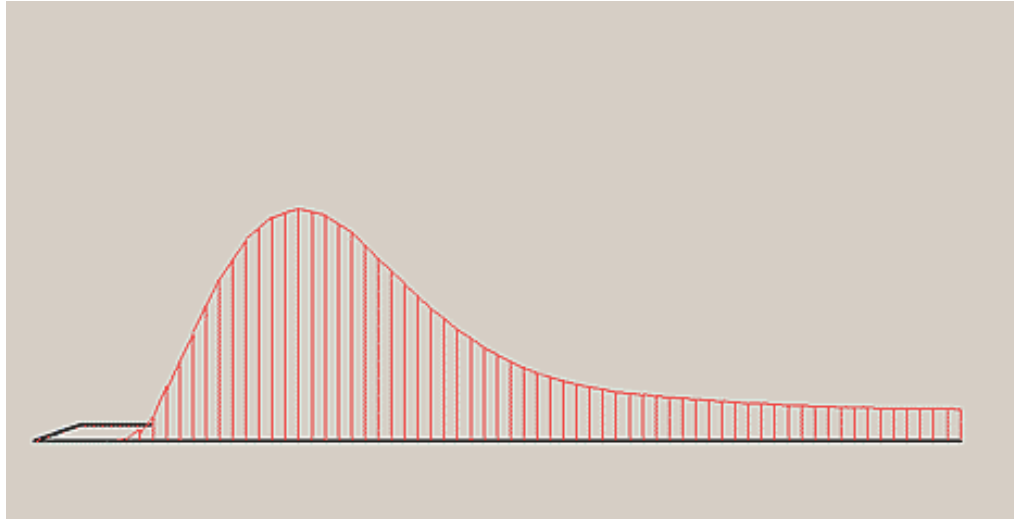


Рис. 4 Поздовжні зусилля, що виникають в геотекстилі

Висновки та перспективи подальших досліджень.

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

2. Програмний комплекс PLAXIS дозволяє моделювати поведінку різних залізничних споруд (тунелів, мостів, насипів) та підбирати оптимальні умови їх роботи. Практична доцільність використання методу розрахунку стійкості (коефіцієнта безпеки) програмою PLAXIS доведена рядом робіт, що пов'язані з визначенням стійкості споруд у разі зсувних процесів у ґрунті.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л.І. Дяченко, Г.П. Кислий, В.О. Курач. – Дніпропетровськ : Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт-прес», 2001. – 104 с.
2. **Грицьк В. И.** Расчеты земляного полотна железных дорог: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. И. Грицьк. – М. : УМК МПС, 1998. – 520 с.
3. **Зоценко М.Л.** Математичне моделювання геотехнічних процесів на основі рішень пружно-пластичної задачі нелінійної механіки ґрунтів // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 12 – С. 96-104.
4. 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.