

Висновки. Залежності (5), (7), (10), (13), (17), (18) з урахуванням (2) являють собою рівняння, які містять трансцендентні функції від невідомої сили F . Вони можуть бути розв'язані тільки числово. Для розв'язання рівнянь розроблено кроково-ітераційний метод. Жорсткості перерізів є функціями деформованого стану і для будь-якої стадії роботи колони можуть визначатись за залежністю (2). Процес послідовних наближень організовано у такий спосіб: задається змінний крок по навантаженню, у кожному наближенні обчислюється прогин, уточнюється жорсткість. Ітераційний процес триває до досягнення задовільної збіжності по прогинах. У результаті розрахунку визначається максимальне навантаження ($F_{кр}$), при якому починається інтенсивне зростання прогинів. Виконано числовий розрахунок сталеві колони завдовжки 1 м, з прямокутним перерізом розмірами 50x50x2 мм, для наведених вище схем навантаження отримані результати збігаються з експериментальними дослідженнями.

1. Глазунов Ю.В. Исследование экономической эффективности применения сталебетонных колонн прямоугольного сечения в строительстве // Межвузовский сб. науч. трудов. – 1996. – Вып. 27. – С. 142–145. 2. Тимошенко С.П. Устойчивость стержневой пластин и оболочек. – М., 1971. – 808 с. 3. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчёт сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии // Бетон и железобетон. – 1993. – № 1. – С. 13–15. 4. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения: Дис. ... д-ра техн. наук. – Харьков, 1985. – 481 с. 5. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчёт сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при внецентренном сжатии и изгибе // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 1. – С. 6–10.

УДК 625.7/8

І.П. Гамеляк*, Г.В. Журба, Л.О. Карасьова*, Д.О. Куліков*

*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів,
Національний транспортний університет, м. Київ,
ТОВ “Свроізол geosynthetics”

РОЗРАХУНОК ПОСИЛЕННЯ СЛАБКОЇ ОСНОВИ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ АЕРОПОРТУ В м. ЛЬВОВІ

© Гамеляк І.П., Журба Г.В., Карасьова Л.О., Куліков Д.О., 2010

Наведено основні положення та приклад розрахунку посилення слабкої основи геосинтетичними матеріалами для реконструкції Львівського аеропорту у ході підготовки до Євро-2012. Встановлено вимоги до матеріалів для армування та наведено приклад конструктивних рішень для збільшення несучої здатності ґрунтової основи.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, стійкість основи, несуча здатність.

In the article basic positions and example of computation of strengthening of weak basis are resulted by geosynthetics materials for the reconstruction of Lvov aeroport within the framework of preparation to Euro-2012. The requirements are set to materials for the reinforcement and the example of structural decisions is resulted for the increase of bearing strength of the ground basis.

Keywords: geosynthetics materials, firmness of basis, bearing strength.

Вступ. Термінал аеропорту побудований в 1954 році. Штучне покриття аеропорту зводились упродовж тривалого часу, а в подальші роки відбувалося подовження смуги та її посилення. В 1973 році була подовжена смуга та оновлено покриття. В 1984 році було виконано посилення покриття асфальтобетоном. Неодноразово здійснювалось дослідження фактичного стану аеродрому і розробка пропозицій із доведення до відповідності чинним на той час нормативним документам. У ході підготовки до Євро-2012 проектом передбачена реконструкція аеродрому, що полягає у

продовженні на 1000 м штучної злітно-посадкової смуги (ШЗПС) і зміцненні наявного полотна несучої спроможності об'єкта з доведенням показника PCN до 55.

Постановка задачі. Основна проблема полягає у тому, що за даними геологічних вишукувань модуль деформації іноді менший за 10 МПа, тому модуль пружності ґрунту менший, ніж 40 МПа і основу можна зарахувати до категорії *D* – дуже низька міцність, характеризується коефіцієнтом постелі $K = 20 \text{ МН/м}^3$ і всіма значеннями K менше за 25 МН/м^3 для жорстких покриттів і $CBR = 3$, при всіх значеннях показника CBR менше за 4 для нежорстких покриттів.

Світовий досвід будівництва автомобільних доріг та аеродромів в складних інженерно-геологічних умовах, особливо там, де ґрунти слабкі, такі як мули, заторфовані, сапропелеві ґрунти тощо, свідчить про ефективність використання сучасних армуючих геосинтетичних матеріалів для збільшення несучої здатності ґрунтової основи [1–2]. Оскільки застосування цих матеріалів в конструкціях земляного полотна автомобільних доріг і тим більше ґрунтової основи аеродромів, де глибина активної зони сягає 7,5 м, почало входити в практику зовсім недавно, перед проектувальниками постає питання: як проектувати і розраховувати конструкції із використанням геосинтетичних матеріалів? Останнім часом на замовлення державної служби автомобільних доріг України ТОВ “Гідрозахист” за підтримки компанії “Євроізол Geosynthetics” у співпраці із працівниками кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг НТУ було розроблено низку нормативних документів:

- ВБН В.2.3-218-544: 2008 “Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві”;
- СОУ 45.2-00018112-025:2007 “Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань”;
- “Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням ГМ” (доповнення до ВБН В.2.3-218-544)”.

Область застосування ГМ: земляне полотно автомобільних доріг та аеродромів на слабкій чи неоднорідній основі (рис.1); високі насипи автомобільних доріг; дамби гідротехнічних споруд тощо.

Основна частина. Розрахунок стійкості насипу на слабкій основі виконують за критеріями внутрішньої і зовнішньої стійкості та експлуатаційного граничного стану (рис. 1).

Критеріями розрахунку внутрішньої і зовнішньої стійкості насипу на армованій основі є забезпечення: внутрішньої стійкості ґрунту насипу; бічного розповзання насипу; стійкості основи проти витискання; стійкості насипу проти зсуву з обертанням або загальна стійкість насипу.

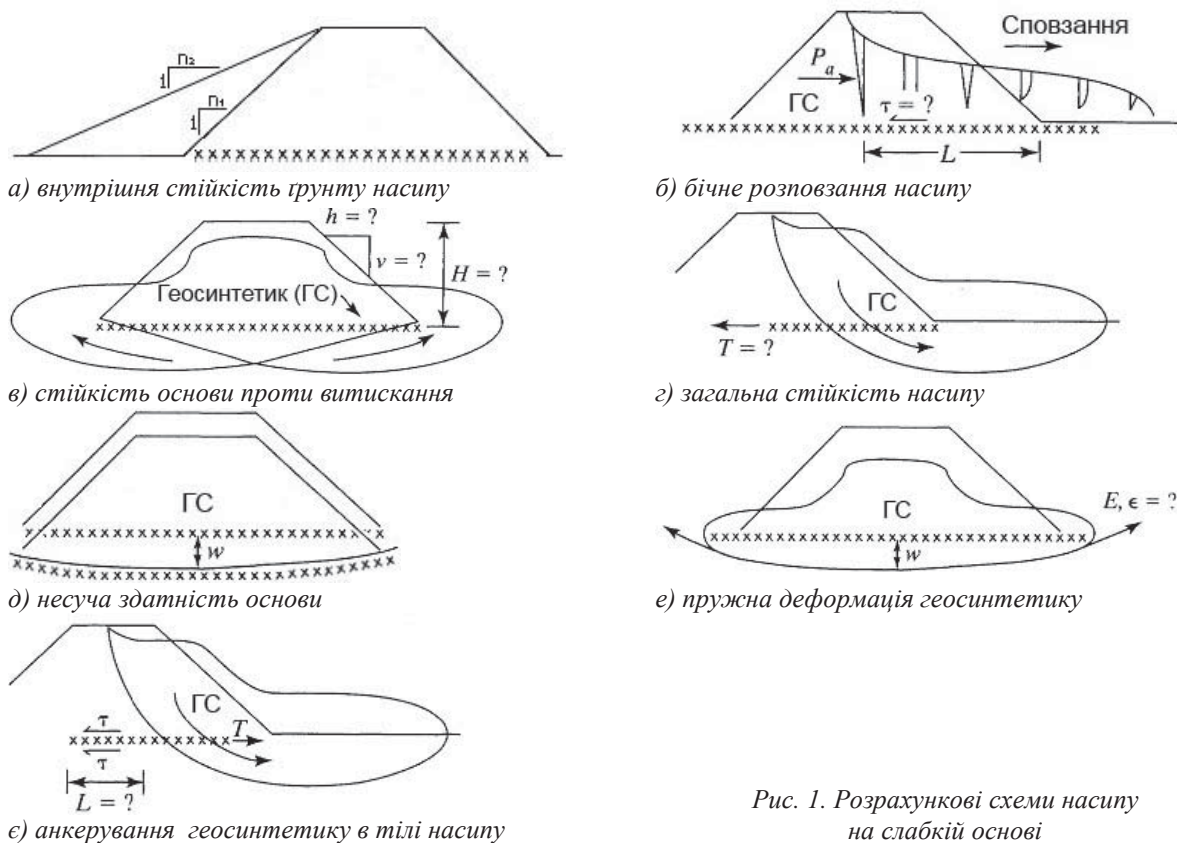


Рис. 1. Розрахункові схеми насипу на слабкій основі

Оцінку граничного експлуатаційного стану насипу виконують за критеріями: осідання насипу на слабкій основі; деформативності армуючого полотна.

За результатами розрахунків за критеріями внутрішньої і зовнішньої стійкості встановлюють необхідну номінальну міцність геосинтетика і мінімальну довжину анкерування полотен.

Внутрішня стійкість ґрунту насипу забезпечена, якщо виконується умова (1):

$$\frac{1}{n} = \frac{H_1}{L_s} \leq \operatorname{tg} \varphi_{1d}, \quad (1)$$

де $1/n$ – закладання укосу згідно з рис. 2; H_1 – висота насипу; L_s – ширина укїсної частини при основі; φ_{1d} – проектне значення кута внутрішнього тертя ґрунту насипу.

Якщо умова (1) не виконується, необхідно зменшити величину закладання укосу (збільшити n) або армувати укїс.

Для забезпечення **стійкості насипу до бічного розповзання** армуюче полотно повинно протистояти горизонтальному бічному тиску ґрунту. Величину розтягуючих зусиль T_{ds} в геосинтетичу, необхідну для стримування розповзання, визначають згідно з рис. 2 за формулою:

$$T_{ds} = P_a = 0,5 \cdot K_a \cdot (\gamma_{1d} \cdot H_1 + 2 \cdot (q_{Qd} + q_{Gd})) \cdot H_1, \quad (2)$$

де γ_{1d} – середньозважена проектна питома вага ґрунту насипу; H_1 – висота насипу; q_{Qd} і q_{Gd} – проектна інтенсивність відповідно рухомого і статичного привантаження на поверхні насипу; K_a – коефіцієнт активного бічного тиску, який визначають за формулою

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{1d}}{2} \right), \quad (3)$$

де φ_{1d} – проектне значення кута внутрішнього тертя ґрунту.

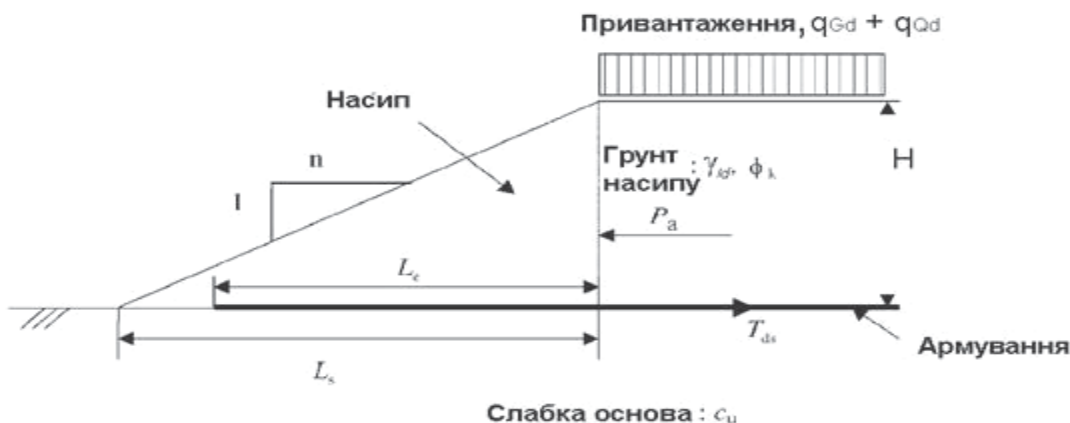


Рис. 2. Схема до розрахунку внутрішньої стійкості ґрунту і бічного розповзання насипу

Для створення зусиль T_{ds} в армуючому полотні мінімальну довжину анкерування L_e визначають за формулою:

$$L_e \geq \frac{0,5 \cdot K_a \cdot H_1 \cdot (\gamma_{1d} \cdot H_1 + 2 \cdot (q_{Qd} + q_{Gd})) \cdot \gamma_m}{\gamma_{1d} \cdot h_1 \cdot \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{1d}}, \quad (4)$$

де L_e – мінімальна необхідна величина анкерування полотен; γ_m – частковий коефіцієнт запасу на проковзування по армуючому геосинтетичу відповідно до табл. 1.7 ВБН; h_1 – середня висота насипу в укїсній частині над геосинтетичним полотном.

Початково приймають $h_1 = H_1/2$ для $L_e = L_s$. Якщо в результаті розрахунку отримано $L_e \leq L_s$, то закладання укосу достатнє; при $L_e > L_s$ закладання укосу необхідно зменшити (збільшити n) або укїс необхідно армувати обоймами; α_1 – коефіцієнт ефективності взаємодії ґрунту насипу з геосинтетичком відповідно до табл. 1.10.

Стійкість основи проти витискання. Залежно від геометричних розмірів насипу можуть виникати зсувні (витискальні) зусилля в слабкій основі. Витискання ґрунту особливо проявляється в товщі з малою несучою здатністю і незначною потужністю. Щоб запобігти такому витисканню, ширина укусу насипу L_s і величина анкерування L_{ext} повинні бути достатніми для отримання необхідних зусиль стримування в армуючому полотні R_R (рис. 3). Припускають, що $L_{ext} = L_s$. У випадку, коли міцність на зсув ґрунту основи (активне напруження зсуву) зростає з глибиною, змінюючи товщину слабого шару z_i , методом послідовних наближень, знаходять найбільше значення L_{ext} , яке повинно відповідати умові:

$$L_{ext} \geq \frac{(\gamma_{1d} \cdot H_1 + q_{Gd} + q_{Qd} - (4c_{2d} + 2 \cdot \xi_d \cdot z_i)) \cdot z_i}{(1 + \alpha_2) \cdot c_{2d} + \xi_d \cdot z_i} \geq 0, \quad (5)$$

де z_i – глибина нижньої поверхні ковзання; c_{2d} – проектне значення зчеплення ґрунту основи під подошвою армування; ξ_d – коефіцієнт збільшення проектного значення міцності ґрунту на зсув на метр глибини під подошвою армування (береться за даними інженерно-геологічних вишукувань, в іншому випадку приймається таким, що дорівнює нулю); α_2 – коефіцієнт ефективності взаємодії ґрунту основи з геосинтетиком відповідно до табл. 1.10 ВБН; γ_{1d} – проектна питома вага ґрунту насипу; q_{Qd} і q_{Gd} – проектна інтенсивність відповідно рухомого і статичного привантаження на поверхні насипу.

Якщо несуча здатність ґрунту слабкої товщі не змінюється з глибиною, рекомендується для розрахунку обмежувати її товщину до $z_{i\max} = 1,5 \cdot H_1$ при коефіцієнті закладання укусу $1,5 < n < 3,0$.

Якщо з розрахунку отримано $L_{ext} > L_s$, величину закладання укусу необхідно зменшити (збільшити n). Приймаючи $L_s = L_{ext}$, необхідну міцність армуючого геосинтетику T_{rf} визначають за формулою:

$$T_{rf} = \alpha_2 \cdot c_{2d} \cdot L_{ext} \quad (6)$$

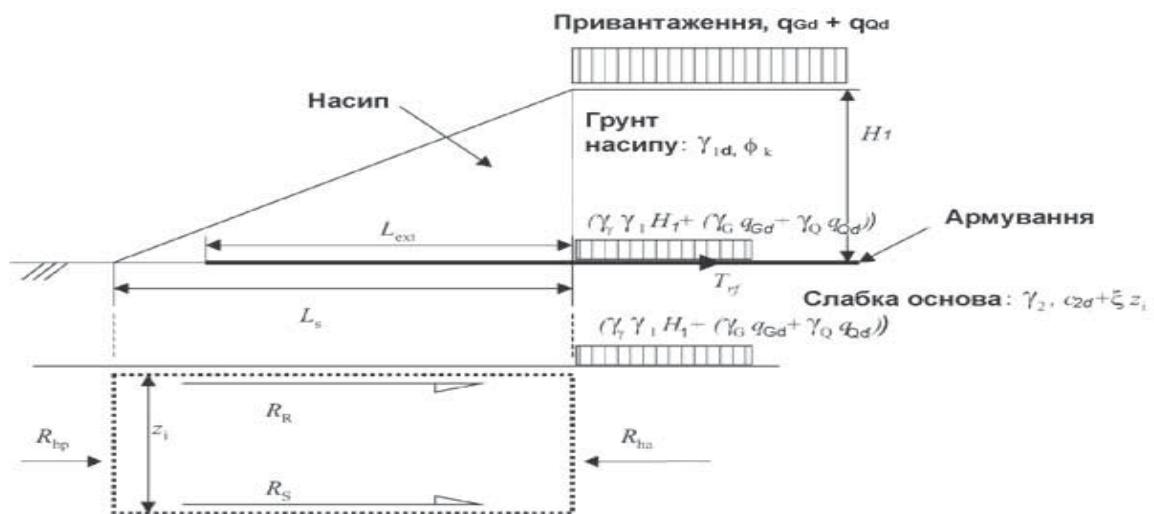


Рис. 3. Схема зусиль до розрахунку стійкості основи проти витискання

При розрахунках стійкості основи проти витискання необхідно застосовувати берми привантаження з урахуванням у розрахункових схемах.

Загальну стійкість насипу оцінюють на основі методу круглоциліндричних поверхонь ковзання. У цьому випадку, враховуючи нормативні вимоги СНиП “Аеродроми” до поздовжнього ухилу з умов безпеки, цей критерій не є визначальним.

Для виконання багатоваріантних розрахунків в середовищі EXEL складено програми, які реалізують наведені вище алгоритми розрахунку. На рис. 4 наведено приклади можливих конструктивних рішень земляного полотна на ділянці із звичайними ґрунтовими умовами та на ділянці залягання слабких ґрунтів.

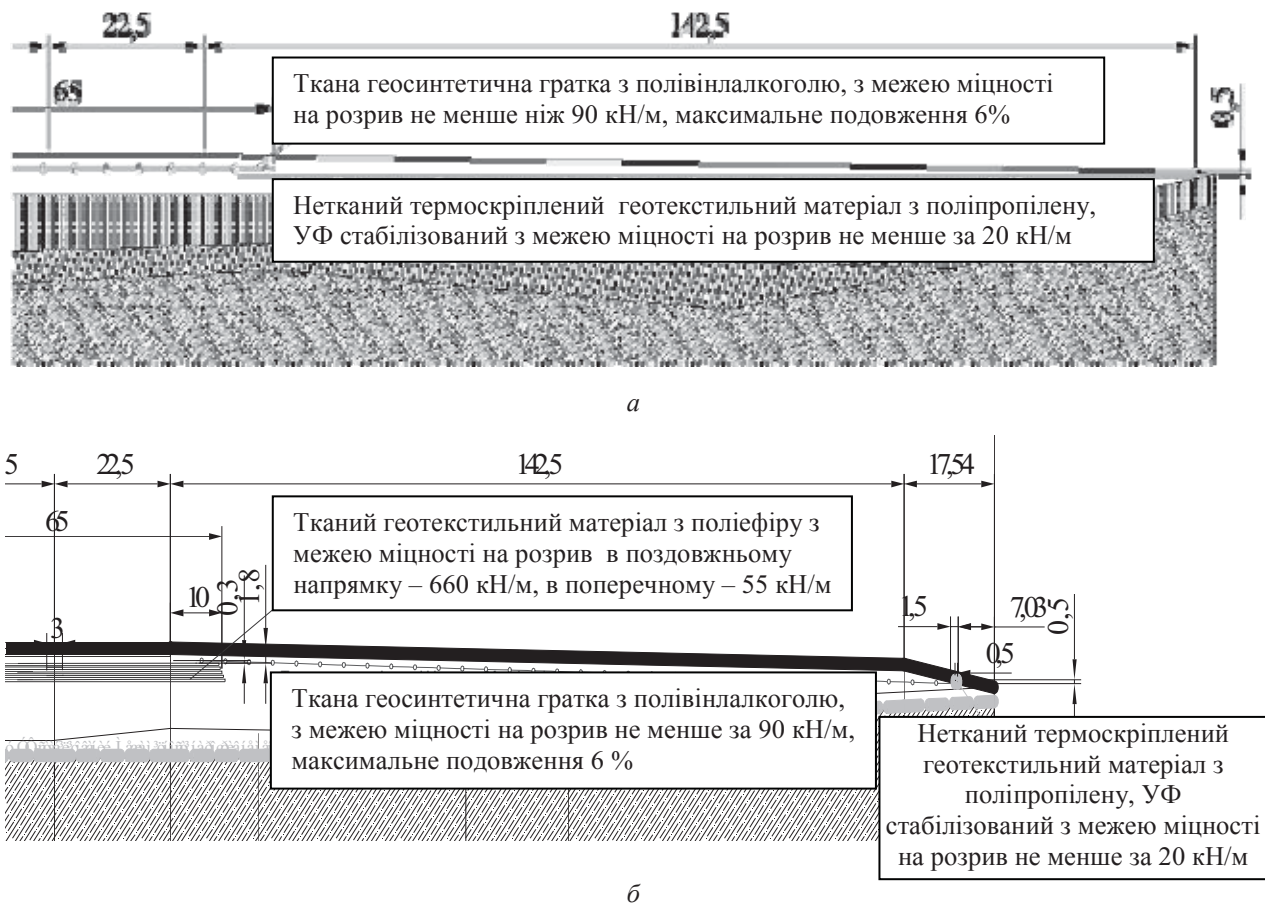


Рис. 4. Приклади конструктивного рішення земляного полотна на ділянці:
а – зі звичайними ґрунтовими умовами; б – на слабких ґрунтах

Наведено особливості технології виконання робіт з використанням геосинтетичних матеріалів для армування слабкої основи.

Висновки. Критерії розрахунку армованих конструкцій дають змогу раціонально, обґрунтовано і системно підходити до вибору оптимального виду геосинтетику з позицій його функціональності, довговічності та ефективності роботи в конструкції земляного полотна, особливо при його спорудженні на слабких ґрунтах. За результатами розрахунків встановлено необхідну кількість шарів, міцність та деформативність ГМ для армування слабкої основи смуги подовження аеропорту м. Львова.

1. Koerner R.M. *Designing with geosynthetics*. – New Jersey. – 5th ed., 2005. – 796 p. 2. *Nordic guidelines for reinforced soils and fills*. – Revision B., 2003. – 138 p. 3. Савенко В.Я., Усиченко О.Ю., Дублік О.І. Визначення загального армуючого зусилля при розрахунках стійкості укосів насипів, що армовані геосинтетичним прошарками // *Автомоб. дороги і дор. буд-во*. – Київ НТУ, 2008. – Вип. 75. С. 252–255. 4. Гамеляк І.П., Боднар І.Д., Журба Г.В., Усиченко О.Ю. Розрахунок земляного полотна, армованого геосинтетичним матеріалами (відповідно до ВБН В.2.3-218-544: 2008 “Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві”) // *Автошляховик України, № 5 (2005)*. – 2008. – С. 38–40.