

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Кочан С.М.

## ПОСИЛЕННЯ ВИСОКИХ НАСИПІВ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

**Анотація.** Досліджено методи підвищення стійкості укосів високих насипів автомобільних доріг при зменшенні кута закладання укосу з метою економії землі, відведеної для будівництва. Виконано розрахунок коефіцієнта стійкості армованих різними геоматеріалами і неармованих укосів різного закладення. Проведена оцінка стійкості укосу у вигляді розрахунку його коефіцієнта запасу і на основі цього підібрана необхідна кількість прошарків. Виконано розрахунок довжини закладення прошарку та призначено розподіл прошарків по висоті насипу.

**Ключові слова:** високі насипи, складні інженерно-геологічні умови, укоси, коефіцієнт стійкості, армування, геосинтетичні матеріали.

**Аннотация.** Исследованы методы повышения устойчивости откосов высоких насыпей автомобильных дорог при уменьшении угла заложения откоса с целью экономии земли, отведенной для строительства. Выполнен расчет коэффициента устойчивости армированных различными геоматериалами и неармированных откосов разного заложения. Проведена оценка устойчивости откоса в виде расчета его коэффициента запаса и на ее основе подобрано необходимое количество прослоек. Выполнен расчет длины заложения прослоек и распределение прослоек по высоте насыпи.

**Ключевые слова:** высокие насыпи, сложные инженерно-геологические условия, откосы, коэффициент устойчивости, армирование, геосинтетические материалы.

**Annotation.** Methods to improve slope stability of high road embankments and shortening side slopes with the purpose of land saving were investigated. The computations of the factors of safety against movement for reinforced slopes with different geosynthetic and unsupported slopes of various side slopes were performed. The slope stability was estimated and the quantity of the geosynthetic layers was

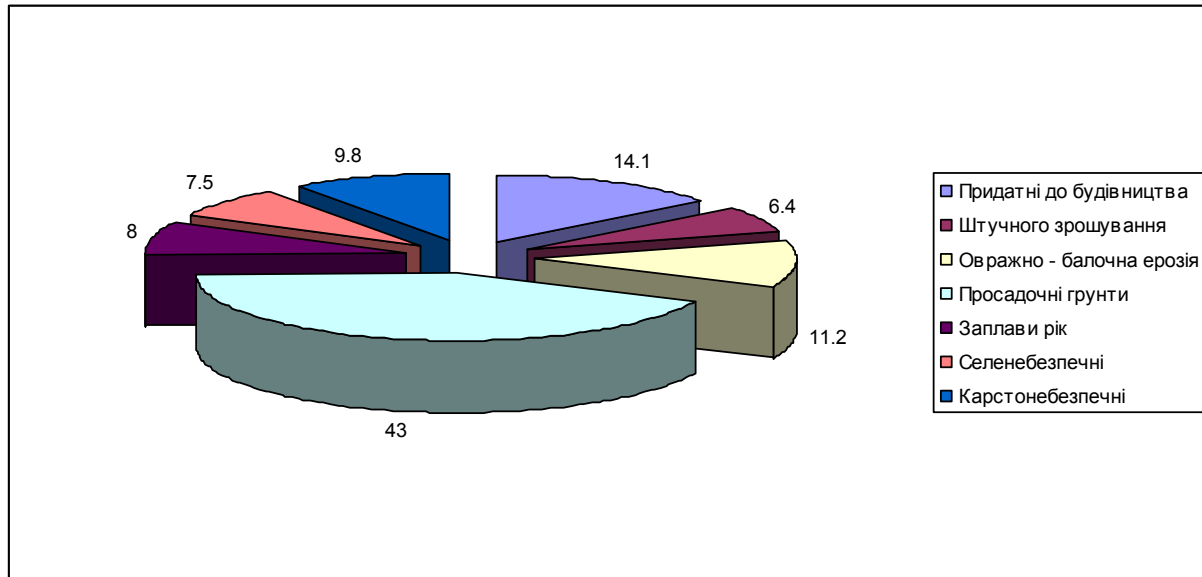
defined. Analysis of geosynthetic length and height of geosynthetic disposition was performed.

**Key words:** high road embankments, difficult engineering-geological condition, slopes, factors of safety, reinforced, geosynthetic, reinforcement.

### Постановка проблеми

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 виникає потреба в розширенні мережі доріг, будівництві об'їзних доріг і автомобільних доріг вищих категорій.

Будівництво доріг пов'язане з їх великою протяжністю, а, отже, і значним різноманіттям природних умов, що, в свою чергу, пов'язано з різними геоморфологічними і геологічними умовами, фізико-геологічними процесами і явищами. На рис.1 приведена відносна кількість складних інженерно-геологічних умов в Україні, які трапляються в будівництві [1].

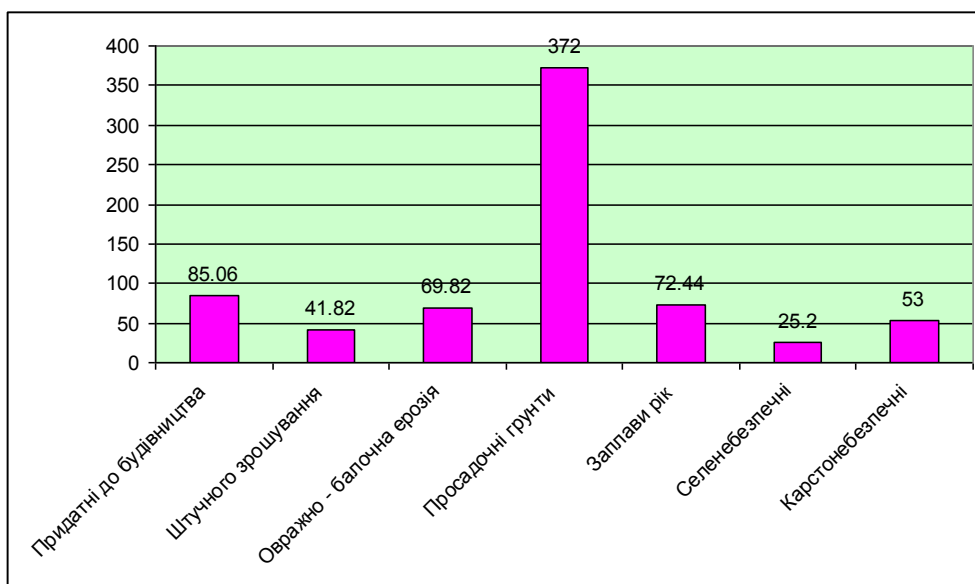


**Рисунок 1** – Складні інженерно-геологічні умови по Україні, %

Будівництво автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах має низку важливих особливостей, пов'язаних із поведінкою цих ґрунтів при спорудженні земляного полотна і в процесі його експлуатації. Специфіка будівництва автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах

полягає у тому, що до дорожньої конструкції в цілому пред'являють спеціальні вимоги. Конструктивно-технологічне рішення основи земляного полотна повинне забезпечити стійкість. Осідання насипу 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.

**Аналіз.** Складні інженерно-геологічні умови – це сукупність характеристик компонентів геологічного середовища досліджуваної території, які впливають на проектування, будівництво і експлуатацію автомобільних доріг. До них відносять такі умови як узгір'я, болота, заплавні ділянки, що затопляються, слабкі ґрунти, засолені ґрунти, рухомі піски, зрошувані території, ділянки залягання вічномерзлих ґрунтів, обвальні ділянки, ґрунти, що просідають (рис. 2) [1].



**Рисунок 2** – Складні інженерно-геологічні умови по Україні, тис.км

При спорудженні земляного полотна на ґрунтах, що посідають слід передбачати таке розміщення водопропускних і водовідвідних споруд, при якому основа земляного полотна і придорожня смуга не буде піддаватися тривалому зволоженню. Якщо передбачено перетин дорогою діючого водотоку, необхідно зберігати його русло [2]. Пропуск води по новому руслу може бути причиною великих просідань ґрунтів. У всіх випадках необхідно забезпечити швидке і безперешкодне відведення від земляного полотна атмосферних опадів

і захист його від поверхневих і ґрунтових вод, використавши нагірні, бічні, сушильні і водовідвідні канали, водозахисні планування, дренажі. Дно і укоси всіх видів водовідвідних каналів повинні бути ретельно ущільнені або укріплені з метою зниження водопроникності ґрунтів [3]. Підчас зволоження лесових ґрунтів змінюються їх характеристики міцності, зменшується кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення. Надмірне зволоження може привести до переходу глинистих ґрунтів з твердого в текучий стан, підчас якого міцності характеристики значно погіршуються. Після зволоження просадочних ґрунтів можуть виникнути деформації основи земляного полотна і утворення тріщин на поверхні укосів насипу і зменшення роботи питомого зчеплення ґрунту. При проектуванні земляного полотна необхідно прогнозувати зволоження ґрунтів і враховувати всі наслідки від зволоження в розрахунках стійкості укосів і всього насипу. Для усунення просадочних властивостей природних ґрунтових основ рекомендується: ущільнення, зміцнення і попереднє замочування ґрунтів.

У місцях спорудження штучних споруд, водопропускних труб великого діаметра, фундаментів шляхопроводів доцільно укріплювати основу, що просідає неорганічними в'язучими: цементом, цементним пилом, фосфогіпсом, геотекстильними матеріалами. Треба відзначити, що лесові ґрунти, які займають більше, ніж половину території України, в результаті замочування під час техногенної дії можна також віднести до слабких ґрунтів. При проектуванні насипів на слабких основах слід призначати обґрунтовані розрахунками спеціальні заходи, що забезпечують можливість використання слабких ґрунтів в основі (закладання укосів, прибудова бічних призм, тимчасове перевантаження, регламентація режиму відсипання насипу, прибудова вертикального дренажу, ґрунтових паль-дрен, пальової основи, прибудова легких насипів, армування насипів і основи геотекстильними прошарками тощо).

Поперечні профілі земляного полотна розроблені з урахуванням довготривалості підтоплення укосів до 20 діб. Насипи на заплавах ділянках, що затопляються, перетині водоймищ і підходах до мостових споруд слід проектувати з урахуванням хвильової дії, а також гідростатичної й ерозійної дії води в період підтоплення. Для забезпечення можливості ремонту і зміцнення укосів у період експлуатації на таких ділянках при техніко-економічному обґрунтуванні допускається передбачати прибудову берм шириною не менше 4 м.

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

Нові технології зміцнення ґрунтів сьогодні усе ширше входять у практику транспортного і цивільного будівництва. Зміцнення слабких основ земляного полотна, посилення дорожнього одягу, зведення насипів з укосами підвищеної крутості [4,5], будівництво армоґрунтових підпірних стін – усі ці задачі легко вирішуються за допомогою сучасних армуючих матеріалів.

Армування має на увазі використання в ґрунтових конструкціях спеціальних елементів, що дозволяють поліпшити механічні властивості ґрунту [6]. Працюючи в контакт з ґрунтом, армуючі елементи перерозподіляють навантаження між ділянками конструкції, забезпечуючи передачу напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені. Ці елементи можуть бути виготовлені з різних матеріалів, що мають опір на розтягнення: метал, залізобетон, структури зі скляних чи полімерних волокон тощо.

Найбільш придатними для армування ґрунтів є геосинтетичні матеріали, завдяки своїм властивостям: висока міцність, стійкість до низьких температур і агресивної дії середовища, неохильність до корозії і гниття, низька повзучість (старіння).

Геосинтетики знаходять все нові області застосування завдяки різноманітності їх видів і функцій з одного боку, а з іншого – завдяки загальній тенденції в будівництві: екологічності, необхідності будівництва у складних геологічних умовах (слабкі ґрунти, неоднорідні основи, гірські райони, насипні землі, відвойовані в моря території, сейсмічно активні райони тощо), зниженню вартості і підвищенню надійності конструкцій.

Використовуючи армоґрунт, можна досягти значної економії в затратах на будівництво, наприклад, внаслідок скорочення обсягів земляних робіт, звуження смуги відведення, зменшення довжини водопропускних труб, використання місцевих некондиційних ґрунтів. У дорожньому будівництві геосинтетичні матеріали використовують для підвищення стійкості дорожньої конструкції як в процесі нового будівництва, так і під час реконструкції і капітальних ремонтів, з яких створюють армуючі, дренажні і захисні прошарки [7].

**Виділення невирішених раніше частин проблеми.** При будівництві автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах необхідно

досягти: підвищення стійкості основи й укосів земляного полотна; зниження витрат традиційних дорожньо-будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження строків будівництва за рахунок швидшого осідання насипу; поліпшення умов відсипання і ущільнення насипу; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення строків служби дорожніх конструкцій.

Актуальність забезпечення стійкості насипів обґрунтовується також ускладненням умов будівництва та експлуатації автомобільних доріг (зростання осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсивності транспортного потоку); зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок впливу природних факторів та зовнішніх навантажень.

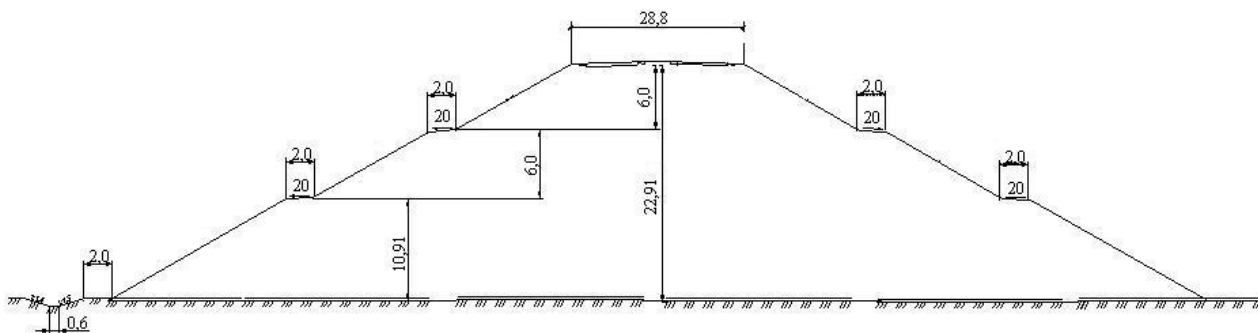
На сучасному етапі одним із перспективних напрямів скорочення строків будівництва, забезпечення міцності структур, скорочення площ під спорудами (зокрема, під насипами автомобільних доріг, на автомобільній дорозі Київ – Одеса, висота насипів сягає до 24 м, тобто ширина основи насипу близько 120 м) є влаштування армоґрунтових конструкцій з армуванням їх геосинтетичними матеріалами, ефективність використання яких обумовлюється також зниженням вартості будівництва завдяки використанню місцевих матеріалів, спорудженням конструкцій у складних інженерно-геологічних умовах, економією висококондиційних будівельних матеріалів, які часто відсутні в районі будівництва, підвищення однорідності і довговічності конструкції тощо.

Як показують недавні деформації укосів на автомобільній дорозі державного значення Київ – Одеса (поблизу с. Соколівка), а також із зарубіжних даних, існують фактори, що призводять до руйнування армованих укосів.

**Мета.** Для економії землі, відведеної для будівництва автомобільних доріг, зменшення обсягу земляних робіт (при зменшенні кута закладання укосу) треба дослідити методи підвищення стійкості укосів і основи земляного полотна і обрати найдоцільніший метод посилення.

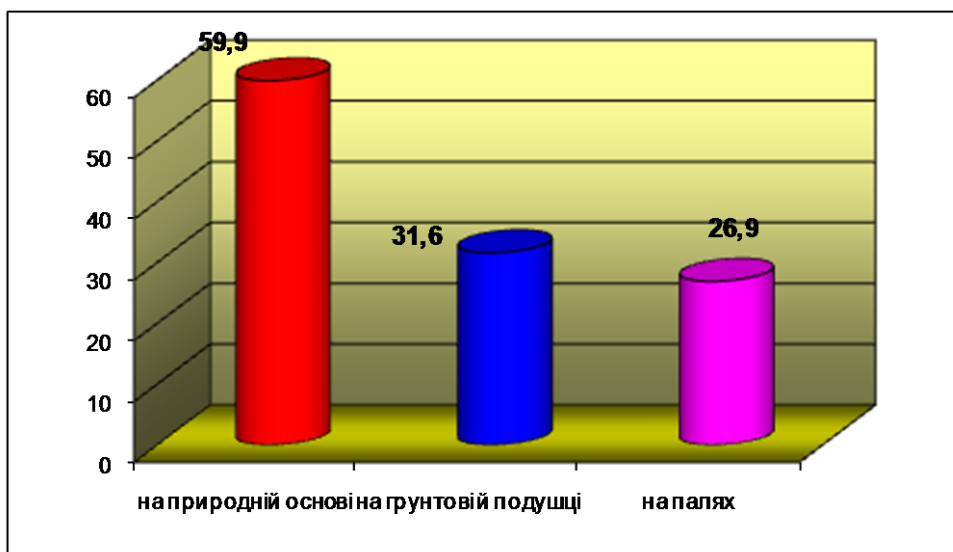
**Основний матеріал.** Для виконання поставленої мети була розглянута ділянка автомобільної дороги Київ – Одеса, км 310+000 – 311+500 на ПК 50+00. Дорога знаходиться в У-ІІІ дорожньо-кліматичній зоні. Висота насипу 22,91 м (рис. 3). Ширина верху земляного полотна становить 28,8 м. Насип зводиться з суглинку важкого пилуватого. Щільність ґрунту  $1,79\text{г/см}^3$ , оптимальна

вологість 0,23, середній коефіцієнт відносного ущільнення дорівнює 1,07. Основою під насипом є балковий алювій, щільність якого  $1,81 \text{ г/см}^3$ , природна вологість 0,268.



**Рисунок 3** – Насип  $H=22,91 \text{ м}$

В роботі був виконаний розрахунок осідання насипу без посилення – на природній основі, і за допомогою посилення: на ґрунтовій подушці і на піщаних палях. Результати розрахунку наведені на рис.4.

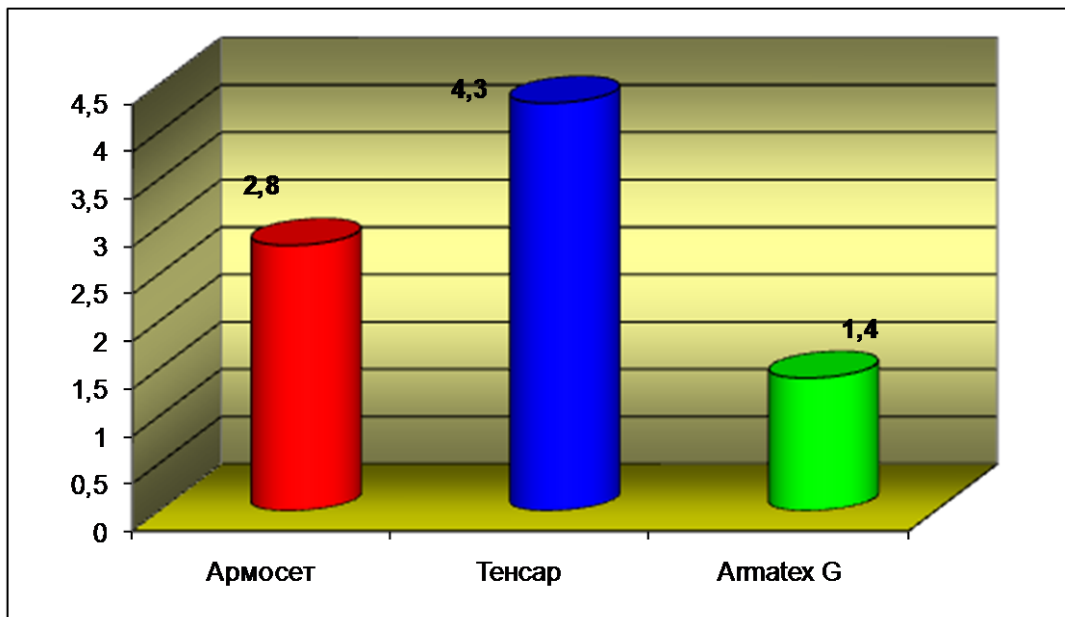


**Рисунок 4** - Графік осідання в см. насипу висотою  $H=22,91 \text{ м}$

Використання геосинтетичних матеріалів для посилення основи земляного полотна дозволило значно зменшити її осідання (рис. 5).

Проектування армоґрунтових споруд проводиться за граничними станами і основним розрахунком таких конструкцій є визначення стійкості [8,9]. Стійкість армоґрунтових споруд розглядається як вирішення комплексної проблеми. Визначається загальна стійкість – стійкість конструкції в цілому. А

також розраховується стійкість окремих елементів конструкції. Результатом розрахунків є необхідні коефіцієнти запасу роботи як окремих елементів, так і споруди в цілому.



**Рисунок 5** - Графік осідання в см. армованого насипу висотою  $H=22,91$ м.

Розрахунок стійкості укосів земляного полотна автомобільної дороги був виконаний трьома методами: відсіків, рівномірного укосу та горизонтальних сил. Визначався загальний коефіцієнт стійкості укосів різного закладення, а також для кожного блоку з метою визначення найбільш небезпечних блоків, потребуючих посилення геосинтетичними матеріалами.

При проектуванні конструкцій насипів з укосами армованими синтетичними матеріалами були виконані наступні завдання:

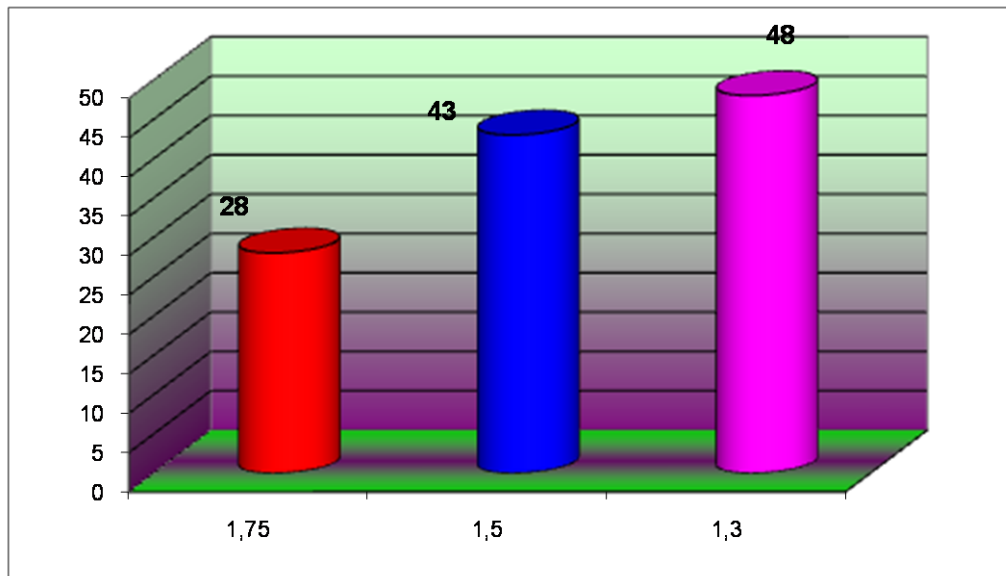
- проведена оцінка стійкості укосу і на основі цього підібране необхідне число прошарків;
- проведено розрахунок довжини закладення прошарку;
- призначено розподіл прошарків по висоті насипу.

Синтетичні матеріали, укладені в укіс з перетином передбачуваної поверхні ковзання, сприймають частину напруг розтягу. Цим створена можливість підвищити загальну стійкість укосів; збільшити крутизну укосів, скоротивши тим самим обсяг земляних робіт, площу земель, що відводяться під будівництво. Кількість прошарків призначають розрахунком виходячи із забезпечення необхідного коефіцієнта стійкості. При виборі місця укладання прошарків синтетичних матеріалів по висоті насипу слід враховувати, що

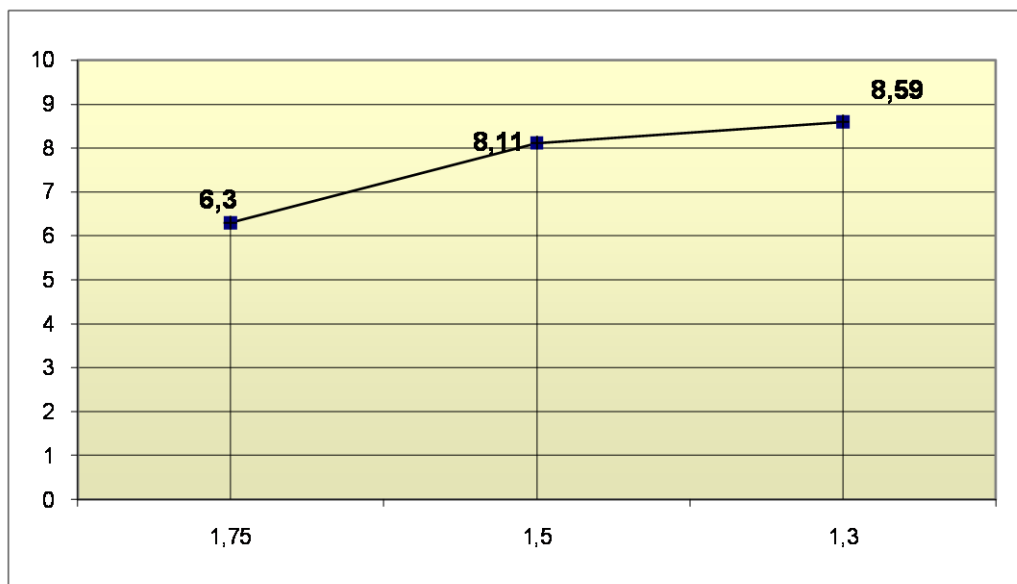


найбільш навантаженою від власної ваги ґрунту є нижня частина насипу. Як правило, верхній із прошарків повинен міститися на глибині 1,0 м від поверхні насипу, нижній – на відстані 0,5м над найнижчою точкою поверхні ковзання.

Результати розрахунку стійкості укосів при їх армуванні на ділянці км 310+000 – 311+500 наведені на рис.6,7.



**Рисунок 6** - Діаграма залежності кількості прошарків від закладання укосу (по вертикалі – кількість прошарків; по горизонталі – величина закладання укосу)



**Рисунок 7** - Графік залежності величини закладання прошарку від поверхні ковзання та величини укосу (по вертикалі – величина закладання прошарку від поверхні ковзання та величини укосу; по горизонталі – величина закладання укосу)

## Висновок

Використання геосинтетичних матеріалів дозволило значно зменшити осідання основи і підвищити стійкість укосів насипу при зменшенні закладання укосу з 1:1,75 до 1:1,3.. Для отримання потрібного коефіцієнту запасу стійкості, як бачимо з рис. 6 і рис. 7, потрібно збільшувати кількість прошарків з геоматеріалів, а також збільшувати величину закладання прошарку від поверхні ковзання.

**Перспективи.** Досвід застосування армованих конструкцій у світовому будівництві показує, що вони більш ефективні та економічні, ніж традиційні. Однак треба враховувати, що ефективність армування залежить від тривалості та інтенсивності взаємодії, жорсткості армувального прошарку і ґрунту, механічних і реологічних властивостей геоматеріалу і ґрунту, а також умов закладання, глибини і характеру розташування арматури у шаруватій конструкції.

## Література

1. Кірічек Ю.О., Балашова Ю.Б., Розбицький Б.Л. Підвищення стійкості високих насипів автодоріг у складних інженерно-геологічних умовах / Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 4-5. – С.13-17.
2. Бойчук В.С. Кірічек Ю.О. Сергєєв О.С. Штучні споруди на автомобільних дорогах. //Підручник. – Дніпропетровськ. ПДАБА, 2004. – 364 с.
3. Бойчук В.С. Кірічек Ю.О. Сільськогосподарські дороги та майданчики. //Підручник. – Київ Урожай, 2000. – 311 с.
4. Петрович В.В., Р.О. Корольков Р.О. Рівновага геотекстильного прошарку в ґрунті з урахуванням технології зведення армованого насипу / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2004. – Вип. 72. – С. 57–60.
5. Корольков Р.О. Методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – Вип. 78. – С. 23–29.
6. Fundamentals of Geosynthetic Engineering . – Shukla S., Yin I. – Taylor and Francis. – London – 2006. – 410 p.
7. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007. К.: Укравтодор, 2007. – 104 с.
8. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.
9. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). – К.: Укравтодор, 2008. – 145 с.