https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.149

УДК 625.7

Башкевич І. В.[1], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0001-7640-4317*
Корецький А. С.[1], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0003-0307-0306*
Онищенко А. М.[1], *д-р техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Островерх Б. М.[2], *канд. техн. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0002-3373-5535*
Потапенко Л. С.[2], *https://orcid.org/0000-0002-1303-7801*

[1] *Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*
[2] *Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА СТАН ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ТА ПРИЛЕГЛИХ СХИЛІВ ЗА ДАНИМИ ГЕОАКУСТИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Анотація

Вступ. При будівництві автомобільних доріг у пересіченій місцевості часто виникають ситуації підрізання зсувонебезпечних ґрунтових схилів, що враховується при проектуванні стійких профілів укосів, захисних споруд та проведенні планувальних робіт. Але в процесі експлуатації доріг протягом достатньо тривалого часу дії транспортних засобів (ТЗ), у результаті продовження розвитку деформацій та зсувних процесів, у схилах відбуваються накопичення деформацій та напружень, збільшення пористості та тріщиноутворення, вони стають знову зсувонебезпечними. Продовження експлуатації доріг у цьому випадку завдає додаткові навантаження на схилові масиви та може стати тригерним ефектом до зсувів. Для уникнення цього вважається обґрунтованою необхідність врахування динамічної дії ТЗ та проведення моніторингу схилів, що може виконуватися методами геоакустичного чи георадарного спостереження, подібно до геологічних методів сейсморозвідки, що використовуються при пошуках корисних копалин.

Проблематика. Аналіз інформаційних джерел щодо прогнозування руйнування ґрунтових схилів та укосів показав, що відбирання та транспорування зразків ґрунту для лабораторних досліджень пов’язані з руйнуванням їх природного стану та до наближеного визначення характеристик, які необхідні для математичного моделювання. Цього можна позбутися при проведенні випробування в натурних умовах при використанні неруйнівних методів дослідження. Одним із таких методів є використання георадарів, а саме: приладів сейсмічного, акустичного та електромагнітного випромінювання з подальшим використанням методів спектральної діагностики. Використання цих приладів дозволяє ставити задачі геодіагностики зсувонебезпечних ділянок природних схилів та основ доріг в режимі постійного чи перервистого моніторингу з метою визначення гідродинамічних і механічних характеристик ґрунтів та прогностичних задач попередження катастрофічних подій.

Мета. Обґрунтувати використання сучасних методів обробки експериментальної інформації в задачах геоакустики, які дозволяють проводити прецизійні вимірювання параметрів природних матеріалів. При цьому можливі дослідження структури таких матеріалів, визначення співвідношень між мікро- і макроскопічними параметрами.

Методи дослідження. Математичне моделювання хвильових полів шляхом розв'язання рівнянь руху методом скінченних об’ємів із урахуванням геоакустичних методів спостереження.

Результати. Шляхом спектрального аналізування результатів числового експерименту отримані дані, які свідчать, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання діючого навантаження трансформується залежно від фізичних і геометричних

умов поширення хвиль, що дає можливість ідентифікувати розташування зон порушення стійкості та визначати характеристики ґрунтових матеріалів схилів, а в часовому плані — на зміну цих параметрів.

Висновки. У результаті проведених числових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару суттєво впливає на зменшення затухання динамічного навантаження. При розгляді конкретного об'єкта шляхом проведення числових експериментів можна отримати дані та надати рекомендації щодо влаштування, при можливості, дороги на безпечній відстані від схилу чи проектування захисних споруд (підпірні стінки, дренажні галереї тощо).

Ключові слова: геоакустичне дослідження, ґрунт, моніторинг, стійкість, схил, числовий метод скінченних об'ємів.

Вступ

У сучасному будівництві автомобільних доріг у пересіченій місцевості нерідкі випадки підрізки зсувонебезпечних ґрунтових схилів. Для запобігання цьому, звертаються до наступних превентивних заходів: проектування стійких профілів укосів і захисних споруд, а також проведення планувальних робіт. У той же час, з часом, у схилах все одно відбуваються накопичення деформацій та напружень, збільшення пористості та тріщиноутворення внаслідок дії транспортних засобів (ТЗ) на дорожнє покриття та на основу. У результаті цього схили стають знову зсувонебезпечними [1, 2], а дорожнє покриття схильне до руйнування. У цьому випадку схилові масиви зазнають додаткових навантажень, що може спровокувати зсуви. Для запобігання цьому необхідно врахувати динамічну дію ТЗ та провести моніторинг схилів і дорожнього покриття. Під час моніторингу стану зсувонебезпечних ділянок виникають можливості виконання профілювання та томографічного дослідження ґрунтових характеристик на достатню глибину масивів за допомогою методів диференціальної спектроскопії параметрів акустичного резонансу (геоакустичні дослідження) та георадарного просвічування, і, таким чином, у процесі моніторингу отримати прогностичні висновки без відбирання зразків та їх випробовування для подальшого дослідження [3, 4].

Перші акустичні дослідження ґрунтувалися на звукових випромінюваннях, що поширюються в матеріалах у вигляді хвиль та сприймалися природнім датчиком — людським вухом, яке має дуже обмежений спектр сприйняття частот. Прилади щодо візуалізації звуків та реєстрації резонансних частот також базувалися на зорових та слухових відчуттях людини (наприклад, камертон) [5–7]. Зараз акустичні дослідження розглядаються в широкому розумінні використання механічних, магнітних та електричних приладів (датчиків), які реєструють коливання в діапазоні від 10 Гц до 11 000 Гц. Такі системи передбачення зсувів базуються також на безпосередній фіксації акустичних шумів, які супроводжують початкові процеси зсуву [8].

Основна частина

Високі темпи дорожнього будівництва та зростаючі тенденції освоєння передгірського простору з нерівностями рельєфу, що спостерігаються останнім часом, сприяють розвитку і застосування новітніх будівельних технологій, що дозволяють створювати надійні конструкції. Завдання з моніторингу дорожніх конструкцій під час проектування та будівництва виникають при наступних обставинах [3]:

– при необхідності проведення контролю якості в період будівництва (контроль «прихованих» робіт);

– при експлуатації споруд з метою запобігання аварійних станів;
– при ремонті та реконструкції споруд.

Обстеження виконаних робіт складається, як правило, з таких етапів:
– обстеження дорожніх конструкцій;
– визначення інженерно-геологічних умов;
– визначення умов взаємодії споруди з навколишнім середовищем.

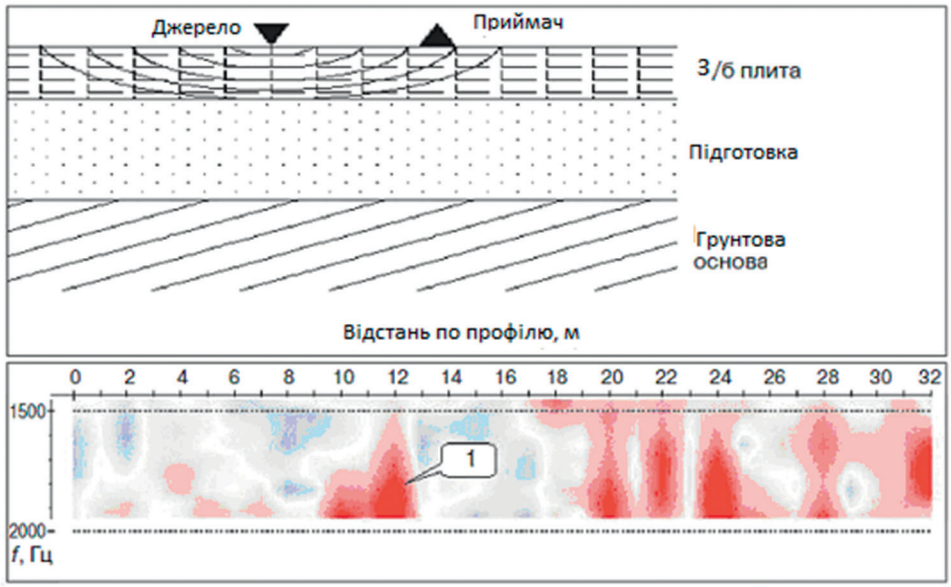
Для вирішення цих завдань використовують методи безпосереднього випробування матеріалів і конструкцій та інструментальні методи, в т. ч. використання неруйнувальних приладів. Як зазначається дослідниками [3, 7, 9, 10] способи безпосереднього випробування матеріалів і конструкцій, як правило, трудомісткі й дорого коштують, що не дозволяє виконувати великий обсяг випробувань. Інструментальні методи, які є в основному непрямими і тому не забезпечують отримання високоточних результатів, навпаки, недорогі і продуктивні. Зараховують до числа інструментальних також хвильові методи, які ґрунтуються на контролі за поширенням пружних хвиль і дозволяють досить оперативно отримувати необхідний обсяг інформації при вирішенні перерахованих вище завдань.

Хвильові (сейсмічні й акустичні) методи за способом застосування поділяють на три групи:
– поверхневі (джерело і приймач знаходяться на поверхні середовища);
– занурені (спостереження у внутрішніх точках середовища);
– змішані.

Спектр об'єктів, для вивчення яких можуть застосовуватися акустичні методи, досить широкий, тому розглянемо лише основні з них, де застосовуються способи найбільш відпрацьовані. На цей час є досвід застосування сейсмічних і акустичних методів при дослідженні існуючих і споруджуваних фундаментів [3], зокрема, суцільних (фундаментні плити), пальових та стрічкових фундаментів (рис. 1). Під час обстеження дорожніх плит акустичними методами можуть вирішуватися такі завдання: визначення характеристик міцності та деформаційних характеристик бетону, виявлення тріщин і дефектів, контроль товщини бетону, визначення стану контакту дорожньої плити з ґрунтовою основою. Для їх вирішення використовують імпульсні навантаження та коливання з частотою від одиниць до десятків кілогерц. Визначення міцності та деформаційних характеристик бетону здійснюють вимірюванням швидкостей поздовжніх, поперечних або поверхневих хвиль на постійній основі або за відомої товщини плити та їх використання для розрахунків на підставі кореляційних залежностей, отриманих для бетону.

Користуючись цією обставиною, можна проводити спостереження на дорожніх плитах про розповсюдження хвиль від джерела коливання до приймальних датчиків, визначаючи зростання спектральної амплітуди в смузі, близької до значення товщини резонансу (рис. 1), яке буде відповідати ділянкам порушення контактних умов. Так само зростання спектральних щільностей та амплітуд на ділянках схилів можуть свідчити про збільшення пористості та порушення їх стійкості внаслідок утворення зон тріщини.

Акустичні спостереження, які проводяться на плитах фундаментів і дорожнього покриття, дозволяють простежувати зміни товщини плит, характер армування, виникнення тріщин та інших дефектів контактних умов між плитами та основою. Спектральний характер явищ руйнування в зоні контакту споруд та основ, а також у зонах деформації та підготовки зсувних процесів на схилах визначають шляхом постановки числового моделювання. Проведенню успішної інтерпретації отриманих результатів сприяє використання математичного моделювання хвильових полів шляхом розв'язання рівнянь руху методом скінченних об’ємів на основі використання засобів Foam-extend 4.2 [11, 12] .



1 — зростання спектральної амплітуди свідчить про порушення контакту між плитою та основою

Рисунок 1 — Приклад визначення просторового положення ділянок порушення контакта плити дорожнього покриття з ґрунтовою основою

Сучасні геоакустичні дослідження дуже добре поєднуються з методами георадарних польових засобів, що дозволяють ефективно досліджувати стан ґрунтів на більші глибини та просторові ділянки.

Теоретична постановка, рівняння і граничні умови. Функціонал рівноваги отримано шляхом інтегрування по обсягу середовища рівняння рівноваги всіх діючих на тіло навантажень із урахуванням об'ємних сил.

$$\frac{\partial^2(\rho\mathbf{u})}{\partial t^2} - \nabla\cdot\sigma = 0 \cdot$$

Розглядаючи баланс імпульсу сил на елемент твердого тіла, отримаємо такі векторні рівняння:

$$\epsilon = \frac{1}{2}\left(\nabla u + \nabla u^T\right),$$

$$\sigma = \mu\nabla u + \mu\nabla u^T + \lambda \mathrm{tr}(u)\mathbf{I}.$$

Враховуючи узагальнений закон Гука щодо малих деформацій ε ізотропного тіла і

$$\sigma = 2\mu\epsilon + \lambda\mathrm{tr}(\epsilon)\mathrm{I}$$

отримаємо вираз для тензора напружень σ у вигляді функції вектора переміщень $\mathbf{u}$

$$\frac{\partial^2(\rho\mathbf{u})}{\partial t^2} - \nabla\cdot\left[\mu\nabla\mathbf{u} + \mu\left(\nabla\mathbf{u}\right)^T + \lambda\mathbf{I}\mathrm{tr}\left(\nabla\mathbf{u}\right)\right] = 0$$

та відповідно рівняння пружно-лінійного середовища відносно однієї змінної **u** із урахуванням граничних і початкових умов.

Для задачі поширення та реєстрації акустичних хвиль видається можливим застосування однієї із сучасних програмних систем, комплекс Open FOAM із корпорації CDF, що є у вільному доступі [11, 12], але вимагає проведення побудови сітки та додаткових перетворень для задоволення граничних і початкових умов.

Вирішувачі (солвери stressFoam, elasticSolidFoam, solidDisplacementFoam) системи Open FOAM та інші — це програми для розрахунку напружень для пружного суцільного неоднорідного тіла, які застосовуються тут на першому етапі моніторингу як до визначення стаціонарного стану прилеглого схилу, так і дослідження перехідних процесів [11]. Тут вирішено зосередитися на дослідженні ізотермічних механічних напружень, тому частина вихідних параметрів щодо температурних ефектів буде знехтувана.

Для вирішення тестової задачі пружних коливань ділянки, що охоплює місце проходження дороги та прилеглого схилу, у змінних плоскої деформації під дією вертикального навантаження, що моделює джерело акустичного збудника, використаємо засоби системи OpenFoam (Variant Foam-extend 4.2 by CFD Company) [11–13], для чого доповнимо їх власною розробкою структурованої моделі (рис. 2), яка отримана засобами *GMSH*, *paraView, Excel* та *Surfer*.

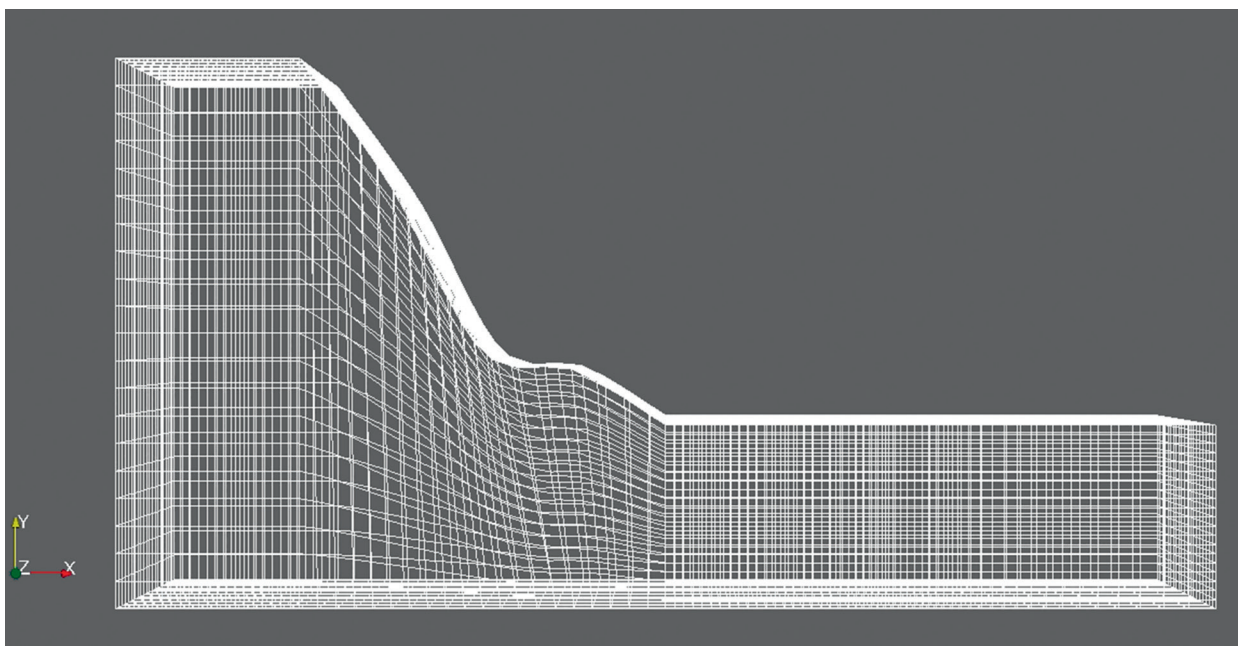


Рисунок 2 **—** Структурована сіткова модель схилу

Хвильовий процес в пружній системі викликається дією імпульсного навантаження від ТЗ з вертикальним тиском P = 0,20 МПа (рис. 3). Стабільний напружено-деформований стан отримаємо шляхом усталення коливань від прикладання навантаження без обнуління.

Форми деформованого та наруженого стану в зоні прикладання навантаження від ТЗ свідчать про відповідність отриманих рішень до відомих аналітичних рішень (задачі Фламана, рис. 4–7).

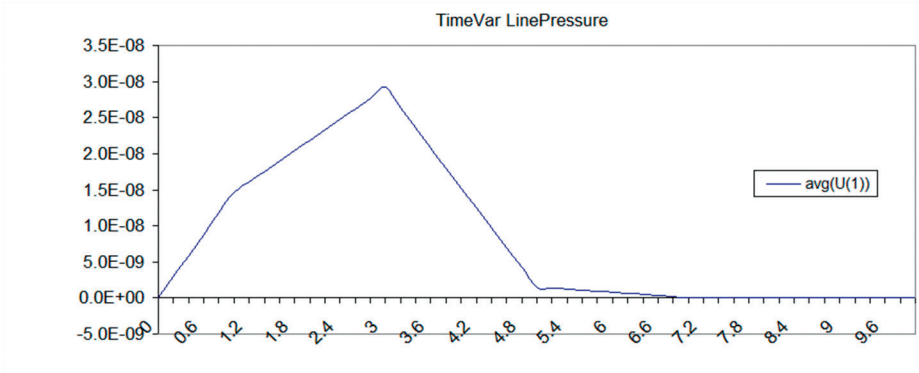


Рисунок 3 **—** Переміщення (в метрах) під імпульсним навантаженням

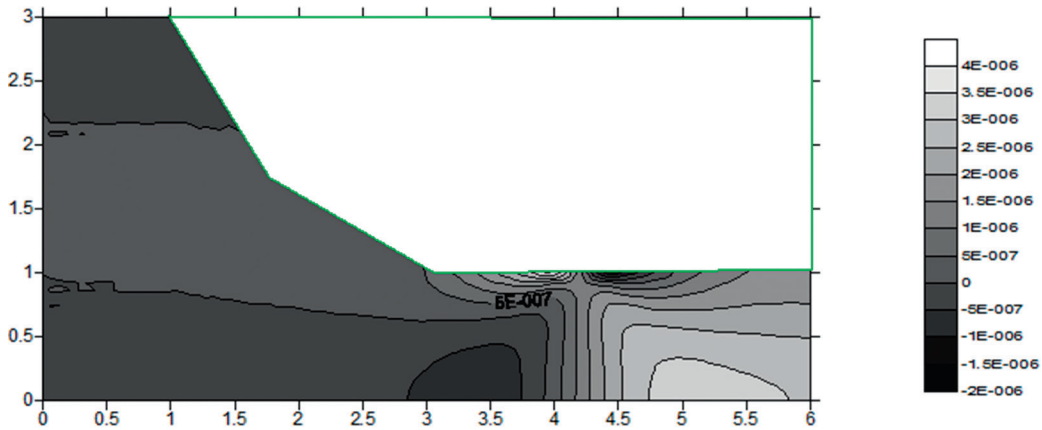


Рисунок 4 **—** Випробування на напруження — ізолінії швидкості деформації V_x, м/с

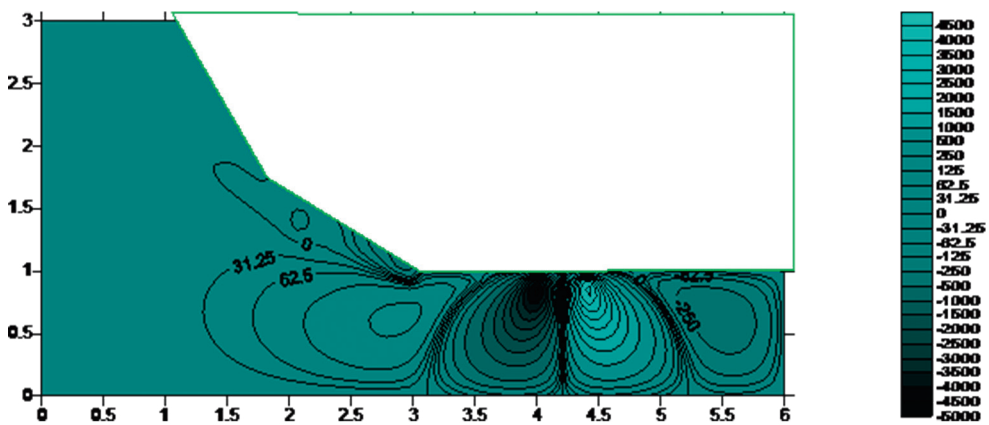


Рисунок 5 **—** Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження σ_{xy}, Па

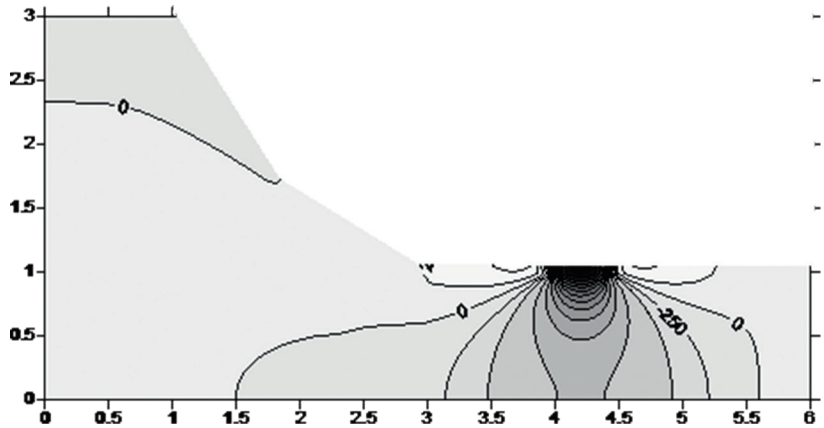


Рисунок 6 — Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження σ_y, Па

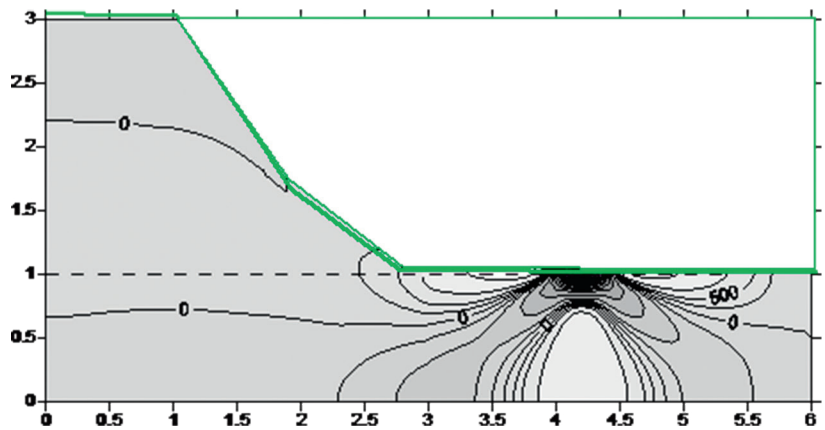


Рисунок 7 — Поширення хвилі від лінії джерела за допомогою програми Foam-extension, напруження σ_x, Па

Акустична реакція на схилі природного пагорба при розподіленому навантаженні показана на рис. 8–10.

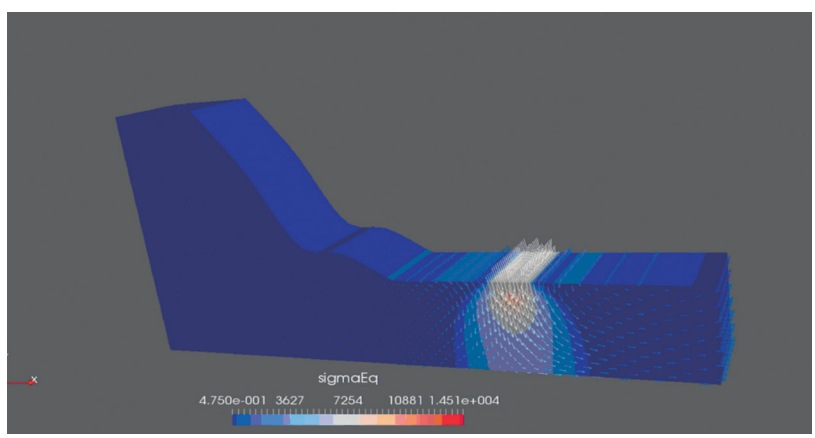


Рисунок 8 — Поширення хвилі від джерела імпульсу напруження на укосі схилу через 2 с

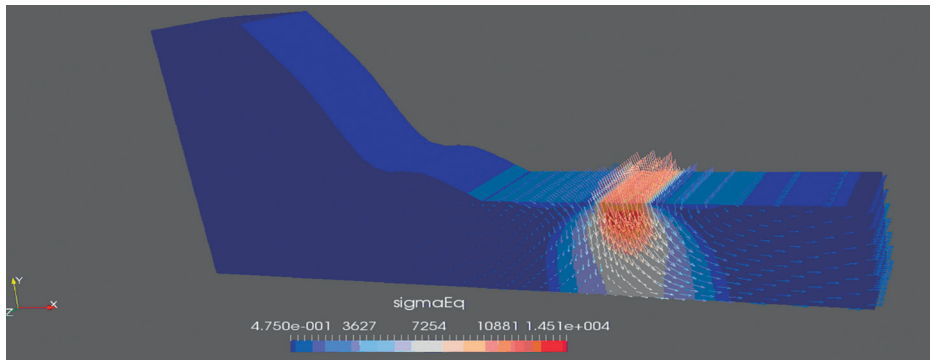


Рисунок 9 **—** Поширення хвилі від джерела імпульсу напруження на укосі схилу через 3,5 с

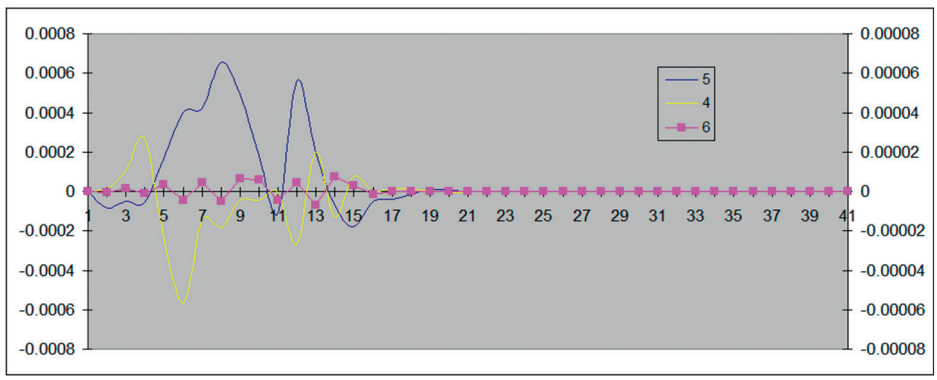


Рисунок 10 **—** Коливання точок регенерації у верхній частині схилу в часі (на горизонтальній осі число ступенів показано з $\Delta t = 0{,}2$ с)

Рисунки, які отримані шляхом спектрального аналізування сейсмограми в пункті реєстрації 4 (рис. 10), свідчать про трансформацію сигналу при поширенні від джерела до ділянки ґрунтового схилу (рис. 11, рис. 12). Видно, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання (рис. 11), на деякій віддалі трансформується залежно від фізичних і геометричних умов поширення хвиль (рис. 12), що дає можливість у подальшому ідентифікувати розташування зон порушення схилу та зменшення стійкості. З допомогою проведених числових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару впливає на зменшення затухання динамічного навантаження.

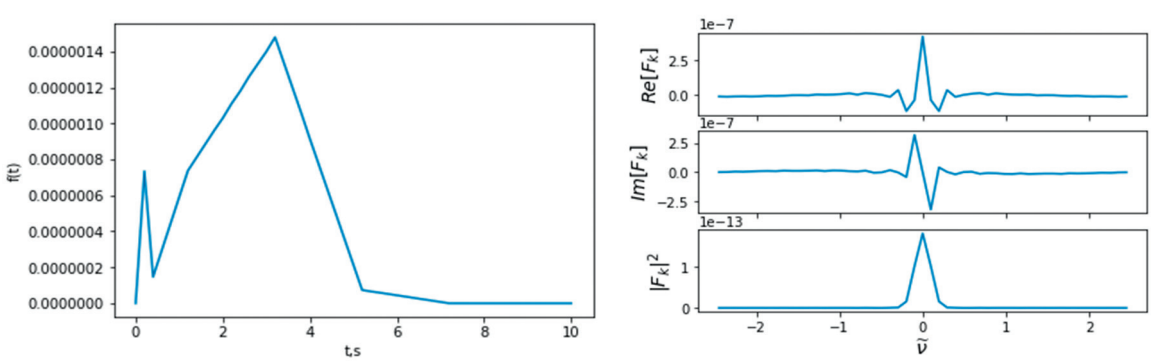


Рисунок 11 **—** Коливання та діапазон при навантаженні на автомобільній дорозі

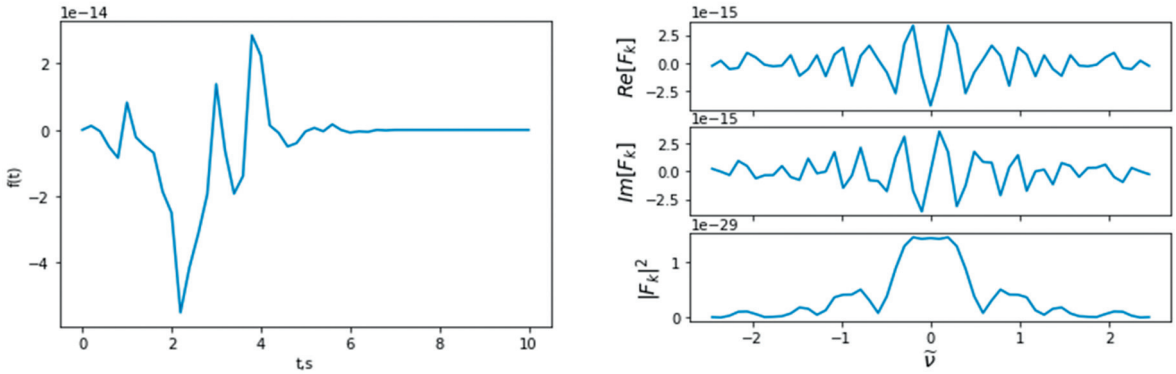


Рисунок 12 **—** Коливання та діапазон у точках реєстрації (4 м від місця навантаження)

Висновки

Використання сучасних методів оброблення експериментальної інформації в задачах геоакустики дозволяє проводити прецизійні вимірювання параметрів природних матеріалів. При цьому можливі дослідження структури таких матеріалів, визначення співвідношень між мікро- та макроскопічними параметрами. Всі розглянуті вище методи об'єднує одна ідея — це ідея узгодження результатів обробки експериментальних і натурних даних із модельними уявленнями. У даному разі такий підхід можна розглядати як узгоджену (з фізико-математичними моделями) оцінку експериментальних даних. Сам підхід досить добре відомий, а можливості сучасної обчислювальної техніки й апаратури, що використовується для реєстрації представляють інтерес для інтерпретації акустичних сигналів, відкривають дуже широкі горизонти для дослідників, що працюють в області досліджень властивостей будівельних та природних матеріалів, плит та основ аеродромних і дорожніх покриттів.

Об'єднання методів лабораторних і числових досліджень із тими, що використовують у натурних умовах, дозволяє отримати додаткову інформацію, оцінити роль масштабних факторів і, насамкінець, оптимізувати методи експериментальних досліджень під вирішення конкретних прикладних задач.

Шляхом спектрального аналізування результатів числового експерименту отримані дані, які свідчать, що задане імпульсне навантаження, яке має зосереджений характер поблизу прикладання діючого навантаження трансформується залежно від фізичних і геометричних умов поширення хвиль, що дає можливість ідентифікувати розташування зон порушення стійкості та визначати характеристики ґрунтових матеріалів схилів, а в часовому плані — на зміну цих параметрів.

У результаті проведених чиселових експериментів показано, що зміна відстані джерела збудження коливань при наявності підстильного шару суттєво впливає на зменшення затухання динамічного навантаження від ТЗ. При розгляді конкретного об’єкта проведенням числових експериментів можна отримати дані з метою надання рекомендацій щодо зменшення допустимої дії ТЗ на схил і влаштування, при можливості, дороги на безпечній відстані від схилу або проектування захисних споруд (підпірні стінки, дренажні галереї тощо).

Список літератури

1. Островерх Б.М. та ін. Чисельні дослідження напруженого стану та незворотних деформацій ґрунтових структур. *Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування*. Київ, 2011. № 75, т. 2. С. 453-461.

2. Островерх Б. М., Савицький О. А. та ін. Рух та напружений стан схилів та укосів. *Світ геотехніки*. Запоріжжя, 2011. Вип 3 (31). С. 3-11.

3. Капустин В. В. Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций. *Технологии сейсморазведки*. Москва, 2008. № 1. С. 91-99.

4. Вусатюк А.Є. Оцінка технічного стану залізобетонних паль у ґрунті неруйнівними методами : автореф. дис. канд. техн. наук. Київ, 2019. 23 с.

5. Грінченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основи акустики. Київ, 2007. 640 с.

6. Вовк І.В., Грінченко В.Т. Звук рожденный потоком (очерк о аэрогидродинамической акустике). Київ, 2010. 222 с.

7. Foti S. Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization.Surface Wave methods. Geo-Congress. Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014. URL: www.soilmech.polito.it/people/foti_sebastiano (дата звернення: 02.07.2020).

8. Mudslides could be predicted with acoustic sensors. URL: https://www.newscientist.com/article/dn25289-mudslides-could-be-predicted-with-acoustic-sensors/#ixzz6CQ6F3j7D (дата звернення: 02.07.2020).

9. Busby J.P., Cuss R.J., Raines M.G., Beamish D., Application of ground penetrating radar to geological investigations, British Geological Survey Internal Report IR/04/21. Nottingham, 2004. 42 p. URL: http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/11336/1/IR04021.pdf (дата звернення: 02.07.2020).

10. Borecka A., Herzig J., Durjasz-Rybacka M.. Ground penetrating radar investigations of landslides. A case study in a landslite in radziszow. Studia Geotechnica et Mechanica. Vol. 37, No. 3, 2015. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028 (дата звернення: 02.07.2020).

11. Cardiff Ph. Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training 2016. 111 p. URL: https:// www.researchgate.net/publication/305618769 (дата звернення: 02.07.2020).

12. Tang Tian Non Linear Solid Stress Analysis peer Reviewed. *The stressed Foam solver in Open FOAM-1.6-extend*.

13. Demirdzic and S. Muzaferija. Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. 125 (1-4). P. 235-255.

References

1. Ostroverkh B.M. & other. Chyselni doslidzhennia napruzhenoho stanu ta nezvorotnykh deformatsii gruntovykh struktur (Numerical studies of stress and irreversible deformations of soil structures). *Stroitel'nye konstrukcii*. Kyiv, 2011. N 75, part 2. P. 453-461 [in Ukrainian].

2. Ostroverkh B. M., Savytskyi O. A. & other. Rukh ta napruzhenyi stan skhyliv ta ukosiv (Movement and tension of slopes and jags). *Svìt geotehnìki*. Zaporizhzhia, 2011. Iss. 3 (31). P. 3-11 [in Ukrainian].

3. Kapustyn V. V. Primeneniye seysmicheskikh i akusticheskikh tekhnologiy pri issledovanii sostoyaniya podzemnykh stroitelnykh konstruktsiy (Application of seismic and acoustic technologies in the study of underground building structures). *Tehnologii sejsmorazvedki*. Moscow, 2008. N 1. P. 91-99 [in Russian].

4. Vusatiuk A.Ie. Otsinka tekhnichnoho stanu zalizobetonnykh pal u grunti neruinivnymy metodamy (Assessment of the technical condition of reinforced concrete piles in the soil by non-destructive methods) : avtoref. dys. ... kand. tech. nauk. Kyiv, 2019. 23 p. [in Ukrainian].

5. Hrinchenko V.T., Vovk I.V., Matsypura V.T. Osnovy akustyky (Basics of Acoustics). Kyiv, 2007. 640 p. [in Russian].

6. Vovk I.V., Hrinchenko V.T. Zvuk rozhdennyi potokom (ocherk o aerohydrodynamycheskoi

akustyke) (Sound born by the flow (an essay on aerohydrodynamic acoustics)). Kyiv, 2010. 222 p. [in Russian].

7. Foti S. Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization. Surface Wave methods. Geo-Congress. *Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014*. www.soilmech.polito.it/people/foti_sebastiano (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

8. Mudslides could be predicted with acoustic sensors // Earth 25 March 2014. https://www.newscientist.com/article/dn25289-mudslides-could-be-predicted-with-acoustic-sensors/#ixzz6CQ6F3j7D (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

9. Busby J.P., Cuss R.J., Raines M.G., Beamish D., Application of ground penetrating radar to geological investigations. *British Geological Survey Internal Report IR/04/21.* Nottingham, 2004. 42 p. URL: http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/11336/1/IR04021.pdf (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

10. Borecka A., Herzig J., Durjasz-Rybacka M.. Ground penetrating radar investigations of landslides. A case study in a landslite in radziszow. Studia Geotechnica et Mechanica*,* Vol. 37, No. 3, 2015. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028 (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

11. Cardiff Ph. Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training 2016. 111 p. https:// www.researchgate.net/publication/305618769 (Last accessed: 02.07.2020) [in English].

12. Tang Tian Non Linear Solid Stress Analysis peer Reviewed. The stressed Foam solver in Open FOAM-1.6-extend [in English].

13. Demirdzic and S. Muzaferija. Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. 125 (1-4). P. 235-255 [in English].

Iryna Bashkevych[1], *Ph.D.*, *Associate Prof.*, *https://orcid.org/0000-0001-7640-4317*
Andrii Koretskyi[1], *Ph.D.*, *Associate Prof.*, *https://orcid.org/0000-0003-0307-0306*
Artur Onyshchenko[1], *D.Sc.*, *Associate Prof.*, *https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Borys Ostroverh[2], *Ph.D.*, *https://orcid.org/0000-0002-3373-5535*
Liudmila Potapenko[2], *https://orcid.org/0000-0002-1303-7801*

[1] *National Transport University, Kyiv, Ukraine*
[2] *Institute of Hydromechanic of NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine*

THE VEHICLE LOAD SIMULATION ON THE PAVEMENT STRUCTURE AND ADJACENT SLOPES BASING ON THE GEOCOUSTIC DATA OBSERVATION

Abstract

Introduction. During the construction of highways in rough terrain, situations of pruning of landslide-prone soil slopes often occur, which is taken into account when designing stable profiles of slopes, protective structures and planning works. But in the process of road operation for a long time, as a result of continued development of deformations and landslides, in the systems of slopes there is an accumulation of deformations and stresses, increased porosity and cracking, they become landslide again. Continuation of road operation in this case puts additional load on the slopes and can serve as a trigger effect to landslides. To avoid this, it is justified to take into account the dynamic actions of vehicles and monitor the slopes, which can be performed by geoacoustic or georadar surveillance, similar to geological methods of seismic exploration used in the search for minerals.

Problem Statement. Analysis of information sources to predict the destruction of soil slopes and slopes showed that the extraction and transportation of soil samples for laboratory instruments and

subsequent installation in the working bodies are associated with the destruction of their natural state and to approximate the characteristics required for mathematical simulation. This can be eliminated by conducting field tests using non-destructive testing. Such means are the use of seismic, acoustic and electromagnetic radiation devices with the subsequent use of spectral diagnostic methods. This is caused by the problem of geodiagnostics of landslide-prone areas of natural slopes and foundations of structures in the mode of continuous or intermittent monitoring by these means to determine the hydrodynamic and mechanical characteristics of soils and prognostic tasks to prevent catastrophic events.

Purpose. To substantiate the use of modern methods of processing experimental information in geoacoustics problems, which allow to make precise measurements of the parameters of natural materials. At the same time it is possible to study the structure of such materials, to determine the relationships between micro- and macroscopic parameters.

Methods of research. Mathematical modeling of wave fields by solving equations of motion by the finite volume method, taking into account geoacoustic methods of observation.

Results. By spectral analysis of the results of the numerical experiment, the data obtained show that a given impulse load, which is concentrated near the application of the active load is transformed depending on the physical and geometric conditions of wave propagation, which allows to identify the location of zones of stability and determine the characteristics of soil slopes, and in the time plan — to change these parameters.

Conclusion. As a result of numerical experiments, it is shown that changing the distance of the source of excitation of oscillations in the presence of the underlying layer significantly reduces the attenuation of the dynamic load. When considering a specific object through numerical experiments, it will be possible to obtain data to provide recommendations for the arrangement of the road at a safe distance from the slope or the design of protective hydraulic structures (retaining walls, drainage galleries, etc.).

Key words: geoacoustic research, soil, monitoring, slope, stability, numerical methods of finite volumes.