

**МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ
БУДІВНИЦТВІ ОБ'ЄКТІВ НА ПОКАТИХ СХИЛАХ**

**MODELING THE RELIABILITY OF ENGINEERING STRUCTURES IN
THE CONSTRUCTION OF OBJECTS ON STEEP SLOPES**

Назаренко О.М. к.т.н., доц., ORCID: 0000-0003-3738-1129, Березовська А.О., асп., ORCID: 0009-0004-5503-5283, Щуренков О.І. ст. гр. БАД 114м, ORCID: 0000-0002-4670-0577, Калантаєв А.С. ст.гр. БАД 114м ORCID: 0009-0005-6006-975X, Лозний М.М., ст. гр. БАД 114м, ORCID: 0009-0000-6905-1680(Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)

Nazarenko O.M. cand tech science, associate professor, ORCID: 0000-0003-3738-1129, Berezovska A.O., post graduate student, ORCID: 0009-0004-5503-5283, Shurenkov O.I. st. gr. BAD 114m, ORCID: 0000-0002-4670-0577, Kalantaev A.S. st.gr. BAD 114m ORCID: 0009-0005-6006-975X, Loznyi M.M., st. gr. BAD 114m, ORCID: 0009-0000-6905-1680. (National university Zaporizhzhya Polytechnic, Zaporizhzhya)

Питання проектування промислових, аграрних та житлових будівель постає з новими масштабами. Існування природних неугідь на нерівних поверхнях додає спортивного азарту при моделюванні різних типів будівель. Класифікація склонів, їх морфологія та літологічні характеристики ґрунтів додають певні можливості при моделюванні змін в рекреативному господарстві. Питання забезпечення надійності будівельних конструкцій на нормативні 40 років дають певну зацікавленість девелоперів та проєктантів. Об'єктивність даних формує потребу в конкурентноздатних проєктах будівель. Наявність чи розробка нових матеріалів, в'язучих речовин у з'єднаннях лужних металів, літію, натрію, калію, рубідію, цезію, на основі яких формуються лужні та лужно-земельні в'язучі. Окремим випадком таких в'язучих з'явилися шлакоземельні цементи. Використання бетонів на пуцоланових цементах дозволяє підвищити марку цементів, а також розширити діапазон заповнювачів, знизити витрату палива, енергії, транспортних коштів. Композиційне в'язуче на основі мелених шлаків та карбонатних порід, здатне утворювати міцні структури їх активацією, дозволяє здешевити виробництво будівельних матеріалів, стінових блоків, цегли, облицювальних плиток.

Проведено розрахунок напруг ґрунту при покатому та вогнутому схилі. Запропоновано певні альтернативні матеріали, які забезпечують надійність будівель.

Економічність технології полягає в прогресивності операцій та совокупному сталому ефекті впровадження енергоефективних зелених логістичних ланцюгів.

The issue of designing industrial, agricultural and residential buildings is emerging with new dimensions. The existence of natural irregularities on uneven surfaces adds sporting excitement to the modeling of various types of buildings. Classification of slopes, their morphology and lithological characteristics of soils add certain opportunities for modeling changes in the recreational economy. The issue of ensuring the reliability of building structures for the standard 40 years gives a certain interest to developers and designers. The objectivity of data forms the need for competitive building designs. The presence or development of new materials, binders in compounds of alkali metals, lithium, sodium, potassium, rubidium, cesium, on the basis of which alkaline and alkaline earth binders are formed. Slag-earth cements have become a special case of such binders. The use of concretes based on pozzolanic cements allows to increase the brand of cements, as well as to expand the range of aggregates, to reduce the consumption of fuel, energy, and transport vehicles. Technologies for the production of silicate structures are being designed, based on new hydraulic binders and concrete mixtures of contact hardening.

Composite binder based on ground slags and carbonate rocks, capable of forming strong structures by their activation, allows to reduce the cost of production of building materials, wall blocks, bricks, and facing tiles.

The calculation of soil stresses on steep and concave slopes is carried out. Certain alternative materials are proposed that ensure the reliability of buildings.

The cost-effectiveness of the technology lies in the progressiveness of operations and the overall sustainable effect of the implementation of energy-efficient green logistics chains.

Ключові слова: пагорб, геодезія, поверхня, моделювання, будівля, морфологічні карти, проект
hill, geodesy, surface, modelling, building, morphological maps, design.

Вступ. Проектування житлових та промислових будівель уособлює в собі збір вихідних даних по кліматичним, літологічним вологістним характеристикам місцевості та технічні моменти по запиту замовника, девелопера, інвестора. Особливості рельєфу місцевості та можливі зміни поверхні ґрунту під час сейсмічних, гідрологічних змін індикаторів[1]. При пласкій поверхні землі інженерні вишукування проводяться згідно стандартної методики - розрахунок стійкості ґрунту, геологія матеріалу.

Аналіз останніх досліджень. Забезпечення сучасними будівельними матеріалами на всіх рівнях є стратегічним напрямом

будівництва в Україні. Питання розвитку та розробки енергоефективних будівельних матеріалів зростає з постійною швидкістю. У зв'язку з необхідністю енергоощадності та зниженням логістичних витрат в регіоні, пішли шляхом розробки спеціальних директив, призначених для стандартизації в країнах-членах ЄС будівельних нормативів з підвищення енергоефективності будівель [5].

Дослідження, які проводили вчені А.П.Приходько, Н.В.Шпирько, А.А.Салей, Ю.Л.Савін, Л.І.Дворкін, О.В.Безусяк, О.М.Бордюженко, Н.С.Сторчай, А.О.Березовська показали, що можливості виробництва розвиваються, та поширюються по всім регіонам.

Постановка задачі та задача дослідження. Задача обстеження можливостей рельєфу гірських місцевостей полягає в адаптації сучасних технологій будівництва під літологічні характеристики ґрунтів схилів та зміцнення основи різними інженерними заходами для надійного та безпечного будівництва об'єктів.

При дослідженні зсувних тенденцій важливо провести наступні операції[5]:

- вивчення рельєфу, рівня ухилу схилу, ймовірність обвалення схилу при високому куті ухилу;

- геологічно дослідити визначення кількості пластів та підтвердити їх механічні особливості (міцність, деформації, несуча здатність, вологість);

- визначення гідрогеології ділянки, наявність водоносних горизонтів, їх складу і планування запобіжних заходів, аналіз стійкості схилу; наявність дзеркала ковзання.

Методика досліджень. Аналіз законодавчої бази в сфері інженерних вишукувань, ступінь виконання вимог на практиці. Безпека будівництва[6] та експлуатації споруд, оцінка рівня екологічної небезпеки прийняте оптимальних проектних рішень повинні ґрунтуватися на достовірній інформації щодо стану та динаміки природного геологічного середовища.

Насамперед при плануванні будівництва на нерівній ділянці проводиться комплекс геологічних та геодезичним дослідженням[7]. Моделювання проектування будівлі на схилах, може запобігти зсуву ґрунтів та тріщин будинків та їх разломів.

Певним чином існують переваги:

- Нестандартна архітектура;
- Використовується природна дренажна система;
- Налаштування додаткових зон відпочинку.

В залежності від умов в яких буде працювати ґрунт в натурі під дією навантажень, розрізняють два основних види випробувань ґрунтів не зрозуміло:

1 – неконсолідоване зрушення, коли за час ущільнювача дії зрушує навантаження цільності та вологості ґрунту практично не зменшується;

2 – консолідоване – дренавання і зрушення, коли ущільнення встигає повністю передатися на скелет ґрунта, а кожен елемент зрушує навантаження прикладається після практично повного згасання горизонтально деформації від попереднього ступеню.

Захист територій будівель та споруд від зсувних та обвальних процесів використовують інженерний захист у сейсмічних районах, районах з поширенням ґрунтів, що мають особливі властивості (ґрунти, що просідають та набрякають, насипні, намивні), на територіях із гірничими виробками, а також у районах із розвитком інших небезпечних геологічних процесів (підтоплення, затоплення, ерозія та розмиви берегів, водотоків та водойм, абразія, карст, суфозія, селеві потоки, тощо) слід враховувати у відповідності до вимог чинних нормативних документів ДБН В 1.1-12; ДБН В 1.1 – 24.

У тектонічних сейсмоактивних гірничо складчастих областях, до яких належить Свалява, будівництво об'єктів ускладнюється прокладанням доріг, веденням будівництва переважно по гірським ділянкам, схильних до різних гравітаційних явищ зовнішньої геодинаміки, що тягне за собою будівництво чисельних штучних споруд для забезпечення надійності та стабільності однією з таких споруд є підпірні стінки, які можуть забезпечувати стійкість схилів не тільки у звичайних умовах, але й надійно підтримувати ґрунтові масиви при землетрусах.

Обвалення підпірних стінок відбувається не тільки внаслідок сейсмічних впливів, а й унаслідок недоурахування активного тиску ґрунта під час проектування.

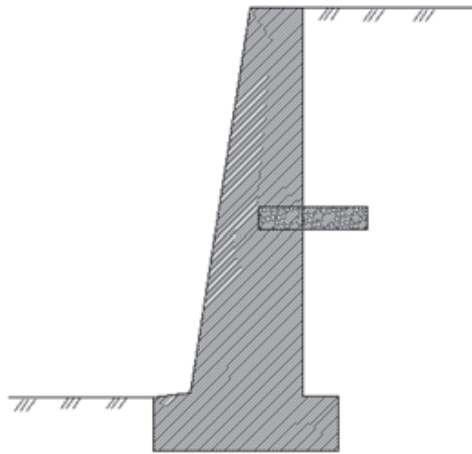


Рис 1 Підпірна стіна з розвантажувальним майданчиком

Сейсмічність споруд підпірного типу втрачає свою актуальність. Особливо труднощі виникають при розрахунку полегшеного залізобетону підпірних стін (кутових, мембранних, контрфорсних) для яких немає жодної рекомендації щодо визначення динамічних навантажень від ґрунту.

З конструктивних прийомів, що прийняття для збільшення сейсмічної стійкості підпірних стін на зсув у основній споруди: підвищення жорсткості

основи, влаштування зуба в підшві стіни, пристрій зворотного нахилу підшви стін, застосування пальової основи, заміна ґрунту в основі стіни.

Вертикальні несучі елементи підпірних стін повинні бути однорідними і мати жорстко закріплені стінки, щоби не перешкоджати вільному пробігу коливань, при сейсмічному впливі і сприяти його згасанню від вільного краю. У разі неоднорідно твердого елемента конструкції необхідно передбачити плавні переходи. В даний час утворюються комплекси з підпірними стінками, виконаними у виді коробчастих систем.

До недоліку відомої конструкції слід віднести те, що в якості заповнювача блоків пропонується однорідний щебінь, що підвищує вартість стіни і, зсув ґрунтів схилу, викликане сейсмічними коливаннями, викликає відносне зміщення окремих блоків стінки, яке може призвести до обвалення окремих блоків на проїжджу частину у разі використання даної конструкції поблизу доріг.

Проведені дослідження активного тиску ґрунту на напіврадіальну підпірну стінку. Горизонтальний тиск ґрунту на напіврадіальну стінку складається з основного тиску p_g від ваги блоку ґрунту, що потребує зміцнення, з урахуванням впливу сил тертя, що діють по поверхні стіни, що дотикається з ґрунтом, і додаткового - при похилому заляганні пластів блоку ґрунту p_{g_i} або виникає при різних зсувах стінки p_{g_s} .

Значення основного тиску масиву ґрунту на стіну визначається як активний тиск ґрунту на циліндричну огорожу:

$$p_g = (1 + K_p)p_{a,r} \quad (1)$$

де K_p - коефіцієнт, що враховує додатковий тиск ґрунту, що виникає в результаті дії сил тертя;

$p_{a,r}$ - активний тиск ґрунту на гладку циліндричну огорожу

Кут нахилу конічної поверхні ковзання до горизонту визначається з умови максимальної сили тиску

$$\frac{h}{R} = 3 \frac{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)}{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)} \operatorname{tg} \theta \quad (2)$$

Якщо висота підпірної стіни $h > R \operatorname{tg} \theta$, то внутрішня утворююча сповзаючого тіла перетинає центральну вісь стіни і тоді тиск нижче глибини

$z = R \operatorname{tg} \theta$ залишається постійним і виражається

$$\frac{h}{R} = \frac{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)}{6 \cos^2 \theta} \quad (3)$$

Для кутів внутрішнього тертя ґрунтів в межах 250 - 350 кут θ близький до 750 тому висота стіни становить $h \geq 3,73R$.

Якщо визначимо тиск ґрунту з максимальними розмірами стінки, згідно з СНіП висотою $h=10$ м та радіусом $R=8$ м, то співвідношення

$$\frac{h}{R} = \frac{10}{8} = 1,25 < 3,73. \quad (4)$$

Дослідження напруженого стану підпірної стінки при модельному дослідженні складається з визначення напруги σ , деформацій ε та переміщень (амплітуд) u , періодів вільних коливань T , швидкостей $\dot{u}$ прискорень $\ddot{u}$.

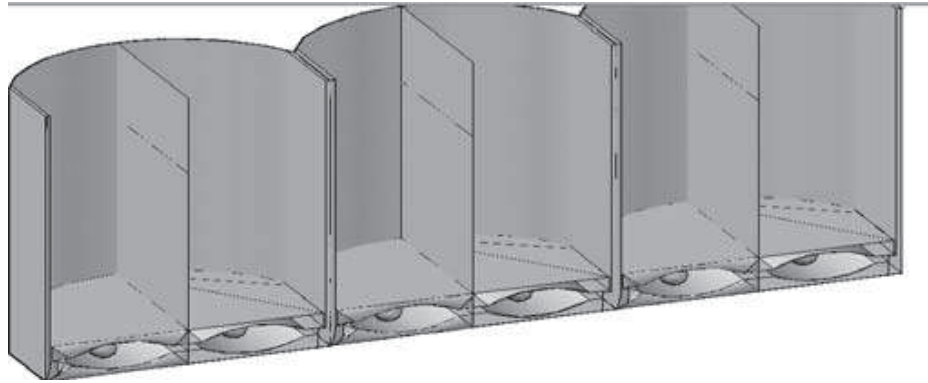


Рис. 3. Загальний вид конструкції підпірної стіни

Економічний ефект від здійснення запропонованих заходів може бути визначений як різниця між середньомовірними повними витратами, пов'язаними з сейсмічною небезпекою, для споруд з постійними динамічними характеристиками $\rho_{\text{ран}}^n$ і змінними, тобто при влаштуванні елементів, що вимикаються (зв'язків), що вимикаються при певному рівні сейсмічного впливу $\rho_{\text{ран}}^{\text{свс}}$

$$E_I = [\rho_{\text{ран}}^n - \rho_{\text{ран}}^{\text{свс}}] \cdot C \quad (5)$$

де C – вартість споруди.

Вартість звичайних антисейсмічних заходів, що виконуються відповідно до рекомендацій діючих норм, зазвичай $\approx 10\text{--}12\%$ у 9 бальній зоні, а в 7-бальних районах це становить $\approx 3\text{--}4\%$ вартості споруди.

Висновки:

1. Розроблена конструкція напіврадіальної підпірної стінки за рахунок застосування викривленої поверхні лицьових плит.
2. У конструкції ґрунт грає роль конструктивного елемента, що має значну вагу.
3. Інженерна конструкція підвищує сейсмостійкість підпірної стінки та знижує бальність будівельного майданчика будівництва на 1 бал.

1. Son, K., Tague, C., & Hunsaker, C. (2016). Effects of model spatial resolution on ecohydrologic predictions and their sensitivity to inter-annual climate variability. *Water*, (8), 321.

2. Дядін, Д. В. (2017). Гідрохімічні показники моніторингу підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазовидобувної інфраструктури. Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації, 66-67.
Diadin, D. V. (2017). Hidrokhimichni pokaznyky monitorynhu pidzemnykh i poverkhnevyykh vod na ob'ekтах naftogazovydobuvnoi infrastruktury. Ekoheoforum-2017. Aktualni problemy ta innovatsii, 66-67.
3. Назаренко, О. М. (2014). Економічна оцінка природоохоронних інвестиційних рішень Запорізького регіону. Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 28-35.
Nazarenko, O. M. (2014). Ekonomichna otsinka pryrodookhoronnykh investytsiinykh rishen Zaporizkoho rehionu. Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 28-35.
4. Ригас, Т. Є., Харламова, О. В., Безденежних, Л. А., & Шмандій, В. М. (2016). Моніторинг станів екологічної небезпеки, що формується у техногенно навантаженому комплексі. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 5(2), 83-88
Ryhas, T. Ye., Kharlamova, O. V., Bezdeniezhnykh, L. A., & Shmandii, V. M. (2016). Monitorynh staniv ekolohichnoi nebezpeky, shcho formuietsia u tekhnogenno navantazhenomu kompleksi. Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho, 5(2), 83-88
5. Chushkina, I., Napich, H., Matukhno, O., Pavlychenko, A., Kovalenko, V., & Sherstiuk, Y. (2024). Loss of small rivers across the steppe: climate change or the hand of man. Case study of the Chaplynka river. International Journal of Environmental Studies, 1-15.
6. Березовська А.О. (2024). Актуальні проблеми відведення земельних ділянок для будівництва промислових об'єктів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 409-416.
Berezovska A.O. (2024). Aktualni problemy vidvedennia zemelnykh dilianok dlia budivnytstva promyslovykh ob'ektiv. Resursoekonomni materily, konstruktsii, budivli ta sporudy, 409-416.
7. Алексеенко А.Е., Мурашко Л.Д., Николаенко В.Г.(1989) Влияние режима тепловлажностной обработки на свойства шлакощелочного мелкозернистого бетона. // Строительные материалы и конструкции. - №9.- с.27-28.
Alekseenko A.E., Murashko L.D., Nykolaenko V.H.(1989) Vlyianye rezhyma teplovlazhnostnoi obrabotky na svoistva shlakoshchelochnoho melkozernystoho betona. // Stroytelnye materyaly y konstruktsyy. - №9.- s.27-28.
8. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. (1988). Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. - №3. - с.14-16.
Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.H. (1988). Aspekty dolhovechnosti tsementnoho kamnia // Tsement. - №3. - s.14-16.
9. Березовська А.О. (2023) // Моделювання морозостійкості композиції легкого карбонатно шлакового бетону // С.М.Боровіков, О.М. Назаренко, В.І.Залєвський, О.О.Ліфаненков, В.Я.Гарбар. НУВГП, Рівне, 44 вип. С.3-11.
Berezovska A.O. (2023) // Modeliuvannia morozostiikosti kompozytsii lehkoho karbonatno shlakovoho betonu // S.M.Borovikov, O.M. Nazarenko, V.I.Zalievskiy, O.O.Lifanenkoy, V.Ia.Harbar. NUVHP, Rivne, 44 vyp. S.3-11.
10. Назаренко О.М. (2022) // Актуалізація розробки технологічного процесу використання техногенних відходів в будівельному виробництві // С.І.Ломовацький, А.О.Березовська, О.С.Іщенко, М.В.Кулік, Н.С.Сторчай. НУВГП, Рівне, 44 вип. С.68-76.
Nazarenko O.M. (2022) // Aktualizatsiia rozrobky tekhnolohichnoho protsesu vykorystannia tekhnohennykh vidkhodiv v budivelnomu vyrobnytstvi // S.I.Lomovatskyi, A.O.Berezovska, O.S.Ishchenko, M.V.Kulik, N.S.Storchai. NUVHP, Rivne, 44 vyp. S.68-76.