

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВПЛИВІВ СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ НА БЕЗПЕКУ БУДІВНИЦТВА, ГІРНИЧО- ДОБУВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ЦИВІЛЬНИХ І ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета: метою статті є комплексне вивчення та аналіз шкідливих впливів гірничо-геологічних умов на безпеку будівництва, гірничодобувної та екстракційної діяльності, а також на існуючі цивільні та промислові об'єкти. Стаття спрямована на визначення факторів ризику та розробку методів їхньої попередження та мінімізації.

Методи дослідження: для досягнення поставленої мети дослідження базується на аналізі геологічних та геотехнічних даних, використанні сучасних інженерних методів та моделюванні впливу гірничо-геологічних факторів. Використані методи включають спектральний аналіз, геоінформаційне моделювання та польові дослідження.

Наукова новизна: статті полягає в розширенні знань про комплексний вплив гірничо-геологічних умов на безпеку об'єктів. Систематизація інформації та нові підходи до вирішення проблеми шкідливих наслідків вносять вагомий внесок у галузь.

Практична значимість: стаття містить практично значущі висновки та рекомендації для забезпечення безпеки будівництва та гірничодобувної діяльності. Результати досліджень можуть слугувати основою для розробки заходів мінімізації ризиків та покращення інженерної безпеки.

Результати: аналіз шкідливих впливів показав, що гірничо-геологічні умови суттєво впливають на безпеку будівництва та експлуатацію об'єктів. Розроблені практичні рекомендації включають:

- стратегії для зменшення негативного впливу та підвищення стійкості інфраструктури;
- використання найновітніших геоінформаційних технологій;
- використання методу скінчених елементів, як потужного інструменту для аналізу та моделювання складних систем у будівництві та гірничій механіці;
- використання методу спектрального аналізу інженерами для оцінки сейсмічного впливу на будівлі та забезпечити їхню стійкість до землетрусів, прийнявши до уваги характеристики конкретного регіону та будівельного об'єкта.

Узагальнюючи, стаття вносить важливий внесок у розуміння проблем гірничо-геологічних умов та їхнього впливу на безпеку будівництва та гірничодобувну діяльність, та подальшу розробку методології мінімізування небезпечних наслідків.

Ключові слова: Гірничо-геологічні умови, безпека будівництва, підвищення стійкості, гірничодобувна діяльність, вплив на існуючі об'єкти, сейсмічна ізоляція, ризики.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-130-137

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблема виникає у розумінні та управлінських ризиках, пов'язаних з гірничо-геологічними умовами, для безпечно-го будівництва та гірничодобувної діяльності. Стаття розглядає зв'язок цих питань з науковими дослідженнями та практичними завданнями в області інженерної безпеки та охорони довкілля.

Геологічні умови:

сейсмічна активність - регіони, схильні до землетрусів, можуть спричинити структурні пошкодження та загрозу будівництву;

характеристика ґрунтів - різні типи та склади ґрунтів впливають на стійкість фундаменту та можуть призвести до проблеми осідання.

Гірничодобувна діяльність:

підземний видобуток - земляні роботи можуть спричинити осідання ґрунту та нести загрозу стабільності конструкції;

наслідки зневоднення - видобуток підземних вод може змінити гідрогеологічний баланс та впливати на фундаменти.

Структурний вплив:

нестабільність фундаменту - зміни в ґрунтовому покриві можуть вплинути на стабільність фундаменту та призвести до структурних проблем;

осідання будівлі - нерівномірне осідання може спричинити структурну напругу та пошкодження.

Екологічні наслідки:

деградація землі - гірничодобувна діяльність може призвести до занепаду землі та впливати на якість води[13-14];

проблеми з якістю води - видобуток корисних копалин може забруднювати водою та створювати ризики для екосистем.

Проблеми інфраструктури:

стабільність доріг і тунелів - видобуток копалин може впливати на стабільність транспортних шляхів;

порушення комунікацій - земляні роботи можуть впливати на підземні комунікації та безпеку об'єктів.

Ризик технологічних небезпек:

викиди газів - гірничодобувна діяльність може виділяти гази, загрожуючи як підземним, так і наземним спорудам;

аварії на шахтах - інциденти в шахтах можуть впливати на споруди та об'єкти навколо.

Кумулятивні ефекти:

довгострокове осідання - повторні гірничодобувні роботи можуть збільшити ризик пошкодження конструкції;

погіршення навколишнього середовища - роботи з видобутку копалин можуть безперервно погіршити навколишнє середовище.

розуміння формування цих шкідливих наслідків забезпечує комплексну геологічну, геотехнічну та екологічну оцінку. Інтегрована система моніторингу та підтримки правил безпеки техніки є вирішальною для пом'якшення та управління ризиками, пов'язаними з гірничо-геологічними умовами.

Аналіз досліджень і публікацій. Науковці КНУ, такі як професор кафедри, охорони праці та цивільної безпеки - Лапшин О.О. та старший викладач - Худик М.В. розглядали питання просідання основ та фундаментів Криворізького басейну[1]. Професор кафедри будівельних геотехнологій КНУ - Бровко Д. В. займався вивченням такого геофізичного явища, як сейсмоактивність та вплив на будівельні об'єкти в залежності від відстані до джерела виникнення явища, розробкою способу визначення відстаней[2].

Аналізуючи низку наукових літературних джерел вітчизняних науковців щодо вивчення та аналізу шкідливих впливів гірничо-геологічних умов на безпеку будівництва, гірничодобувної та екстракційної діяльності, а також на існуючі цивільні та промислові об'єкти слід відзначити праці доктора технічних наук Медведєвої О.О. та її співавторки, аспірантки Гальченко З.С. Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Значний вклад в області безпечного будівництва споруд будівель, комунікацій та загалом використання земельних ресурсів зробили науковці: Мар'єнков М.Г., Бабік К.М., Глуховський В.П., Самойленко С.М., Білеуш А.І., Фрідріхсон В.Л., Кривоног О.І. та Кривоног В.В. Усі зазначені вчені є співробітниками науково дослідницьких інститутів та мають безпосереднє відношення до розробки Державно-будівельних норм[4-6].

Автори [7-12]. Джуліано Ф. Панса (Італія), Дж. Андреотти, К.Г. Лай, А. Алонсо-Родригес, Н. Никитас, Дж. Кнапетт, Г. Кампас, Люсіль "Люсі" Джонс, Томас Джордан, Норм Абрахамсон, Джон Г. Андерсон, Г. П. Біазі, Деві Сукамта та багато інших сейсмологів, досліджують моделі руху ґрунту та спостереження інтенсивності землетрусів. Особлива увага приділяється детальному зонуванню, яке поєднує результати спостережень із моделями руху ґрунту. Зазначено значний внесок Джуліано Ф. Панса, Люсіль "Люсі" Джонс та інших у розумінні сейсмічної безпеки та в її пом'якшенні.

Величезні досягнення в галузі сейсмології має Люсі Джонс, яка не лише проводила важливі дослідження, але й нагороджена медаллю за заслуги перед Америкою, що є визнанням її внеску в область землетрусів та заходів для порятунку життєдіяльності та майна.

На сьогоднішній день звертається велика увага та співпрацюють багато різних вчених у цьому напрямку, проте ще постає безліч викликів перед сучасними дослідниками в галузі сейсмології за для цивільної безпеки.

Постановка задачі. Запропоновано завдання дослідження, спрямоване на докладне вивчення механізмів та розробку ефективних методів управління ризиками в умовах складних гірничо-геологічних умов.

Викладення матеріалу і результати. Вплив складних гірничо-геологічних умов на безпеку будівництва, гірничодобувної діяльності та існуючих цивільних та промислових об'єктів може бути значний.

Геологічні ризики – сейсмічна активність: регіони з високим ступенем сейсмічної активності можуть викликати землетруси, що призводять до пошкоджень будівель та споруд. Грунтові рухи - умови, такі як схил, осипи ґрунту та зсуви, можуть викликати пошкодження будівель та об'єктів.

Гірничі ризики – виробка шахт: діяльність шахт та розробка родовищ можуть викликати підземні порушення, включаючи опадання ґрунту та утворення ям. Гірські тиски та витікання газів: під час видобутку руди можуть виникати гірські тиски та можливі викиди газів, що призводить до небезпеки для існуючих об'єктів.

Вплив на конструкції – підмивання ґрунту: ґрунтові води, які виникають під час гірничодобувної діяльності, можуть викликати підмивання фундаментів будівель та споруд, що може призвести до їхнього обвалення. Грунтові осипи та зсуви: порушення гірничих вод може призвести до зсувів та осипів ґрунту, що становить загрозу для інфраструктури.

Безпека промислових об'єктів – техногенні аварії: нафтові і газові видобутки можуть призвести до техногенних аварій, таких як витікання газів або нафтопродуктів, що може викликати пожежі та інші небезпеки. Хімічні побічні продукти – промислові процеси можуть виробляти хімічні побічні продукти, які можуть мати шкідливий вплив на навколишнє середовище та людське здоров'я.

Вплив на довкілля – забруднення ґрунту та води: видобувна промисловість може викликати забруднення ґрунту та водоймищ, що впливає на природне середовище та здоров'я людей.

Урахування цих ризиків вимагає ретельного геологічного та гірничого дослідження, розробки ефективних технічних рішень та дотримання відповідних нормативів та стандартів безпеки.

Розслідування шкідливих впливів складних гірничо-геологічних умов на безпеку будівництва, гірничодобувної діяльності та існуючих об'єктів вимагає проведення різноманітних досліджень та оцінок. Нижче наведено перелік таких досліджень:

Геологічні дослідження - геотехнічне моделювання ґрунтових властивостей: визначення механічних властивостей ґрунту, які можуть впливати на стабільність будівель, шахт чи інфраструктури. Геологічний облік та дослідження сейсмічної активності: вивчення геологічної структури регіону та оцінка ймовірності землетрусів.

Гірничі дослідження - дослідження стійкості порід та властивостей гірських масивів: визначення можливих зсувів, опадань та інших гірничих ризиків, які можуть впливати на безпеку об'єктів. Моделювання тисків та витікання газів – аналіз можливостей тисків та викидів газів внаслідок гірничодобувної діяльності.

Оцінка впливу на конструкції – гідрогеологічні дослідження: вивчення гідрогеологічних умов для уникнення підмивання фундаментів та стін будівель. Моделювання ґрунтових осипів та зсувів – визначення ризиків ґрунтових осипів та зсувів на підставі гірничих умов.

Безпека промислових об'єктів – ризик-оцінка для техногенних аварій: аналіз можливих техногенних аварій та їхній вплив на навколишнє середовище та безпеку.

Вивчення можливих хімічних витоків – оцінка ризиків витоків хімічних речовин та їхнього впливу на об'єкти навколишнього середовища.

Вплив на довкілля – екологічні дослідження: вивчення впливу гірничо-геологічних умов на довкілля, включаючи можливе забруднення ґрунту, води та повітря.

Сейсмічний аналіз – спектральний аналіз: визначення можливого сейсмічного впливу та його наслідків на будівлі та споруди.

Дослідження цих аспектів є важливим етапом у процесі проектування та експлуатації будівель, гірничих об'єктів та інших промислових об'єктів з метою забезпечення їхньої безпеки та стійкості в складних гірничо-геологічних умовах.

Метод аналізу спектральної відповіді є важливою складовою сейсмічного проектування, і він включає в себе кілька ключових етапів.

Збір даних – збір інформації про геологічні та геотехнічні характеристики місцевості, де будівельний об'єкт буде розташований. Отримання сейсмічних параметрів, таких як амплітуда та тривалість землетрусу, що ймовірно відбудеться в регіоні.

Визначення сейсмічного впливу - використання спектрального аналізу для визначення сейсмічного впливу на будівлю в залежності від сейсмічних параметрів і геотехнічних характеристик місцевості. Визначення спектральних амплітуд – розрахунок спектральних амплітуд для різних періодів будівлі, використовуючи формули спектрального аналізу.

Вибір форми спектру – вибір форми спектру землетрусу, яка найкраще відображає характеристики землетрусу в регіоні. Моделювання впливу землетрусу – використання отриманих спектральних амплітуд для моделювання сейсмічного впливу на будівлю.

Порівняння із вимогами коду – порівняння результатів спектрального аналізу з вимогами сейсмічних кодів і нормативів для забезпечення відповідності проекту. Оцінка структурної відповіді - аналіз структурної відповіді будівлі під дією сейсмічного впливу, з урахуванням спектральних характеристик.

Корекція проекту – внесення необхідних корекцій у проект будівлі для забезпечення необхідного рівня сейсмічної стійкості.

Метод спектрального аналізу дозволяє інженерам оцінити сейсмічний вплив на будівлі та забезпечити їхню стійкість до землетрусів, враховуючи характеристики конкретного регіону та будівельного об'єкта.

Методика вимірювання параметрів сейсмічних хвиль при вибухах в промисловій сейсміці передбачає використання спеціалізованої апаратури для вивчення властивостей гірського масиву. Головною метою цих вимірювань є встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль, зокрема їх вплив на охоронні об'єкти. Завдання включають оперативний контроль, статистичне накопичення даних про параметри коливань, визначення безпечних рівнів коливань та розробку рекомендацій для сейсдобезпечних вибухових робіт.

Для вимірювань використовуються сейсмічні датчики, розташовані по профілю з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту. Апаратурний комплекс забезпечує вимірювання швидкості зміщення ґрунту і проведення спектрального аналізу коливального процесу. Результати досліджень дозволяють визначити масові швидкості коливань у різних діапазонах частот.

Дані інструментальних вимірювань уніфікуються та поділяються на групи, включаючи загальні відомості, характеристику порід, параметри вибуху та сейсмічних хвиль. Важливо застосувати спектральний аналіз для точного визначення параметрів коливального процесу.

Дослідження впливу вибухів на опори лінії електро-передач (ЛЕП) показують, що спектральний аналіз є ключовим елементом для визначення резонансних явищ та забезпечення безпечної експлуатації об'єктів. Методика також передбачає використання сейсмічних параметрів для розробки рекомендацій з визначення сейсдобезпечних параметрів вибухових робіт в гірничих умовах [4-6].

Метод скінченних елементів (МСЕ) — це чисельна техніка, яка широко використовується в інженерних і прикладних науках для вирішення складних задач, пов'язаних зі структурним аналізом, будівництвом і гірничою механікою. Це передбачає поділ складної системи або структури на менші, простіші елементи, які називаються кінцевими елементами. Кожен елемент розглядається як окрема частина з відомими властивостями, а потім аналізується взаємодія між цими елементами, щоб зрозуміти загальну поведінку всієї системи. Ось детальна розбивка ключових аспектів методу скінченних елементів:

Генерація сітки – перший крок у МСЕ передбачає поділ усієї структури на менші дискретні елементи.

Цей процес відомий як створення сітки, де геометрія представлена з'єднанням вузлів з елементами, створюючи сітку. Генерація сітки у скінченно-елементному аналізі пов'язана з чисельним моделюванням фізичних процесів, і це складний технічний процес, який вимагає відповідного програмного забезпечення та спеціалізованих навичок. Типи елементів на сітці можуть мати різні форми, такі як трикутники, чотирикутники, п'ятикутники, шестигранники тощо, залежно від складності задачі. Вибір типу елемента залежить від конкретних вимог аналізу.

З'єднання вузлів і елементів: вузли — це точки в структурі, до яких застосовуються рівняння рівноваги. Елементи з'єднують вузли та використовуються для моделювання фізичної поведінки матеріалу між вузлами. Властивості матеріалу, такі як модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона та щільність, призначаються кожному елементу на основі властивостей фактичних матеріалів, які використовуються у фізичній структурі.

Дискретизація та апроксимація: неперервна задача перетворюється на дискретну систему за допомогою математичних наближень, як правило, поліноміальних інтерполяційних функцій. Ці наближення застосовуються для представлення фізичної поведінки конструкції всередині кожного елемента.

Формулювання елементних рівнянь: рівняння, що керують поведінкою кожного окремого елемента, виводяться на основі фізичних законів і принципів, що стосуються проблеми.

Асамблея глобальної системи: рівняння окремих елементів потім збираються в глобальну систему рівнянь, що представляє всю структуру.

Застосування граничних умов: граничні умови, що представляють обмеження та зовнішні сили, застосовуються до глобальної системи.

Рішення системи рівнянь: система рівнянь розв'язується чисельно, як правило, за допомогою ітераційних методів або прямих розв'язків.

Подальша обробка: після того, як рішення отримано, постобробка включає вилучення відповідної інформації, такої як розподіл напруги, деформація та інші величини, що цікавлять.

Метод скінченних елементів є надзвичайно універсальним і може бути застосований до широкого кола інженерних проблем, що робить його потужним інструментом для аналізу та моделювання складних систем у будівництві та гірничій механіці. Це дозволяє інженерам отримати уявлення про структурну поведінку, передбачити продуктивність за різних умов і оптимізувати конструкції для підвищення безпеки та ефективності.

Інженерний захист території та об'єктів передбачає попередження, усунення або зниження негативного впливу небезпечних геологічних процесів. Проведення заходів стає необхідним у разі прояву руйнівних впливів природного розвитку чи нових чинників, спричинених техногенезом [4-6].

Основні вимоги до будівель і споруд включають міцність, пожежну безпеку, захист життя та здоров'я, екологічну безпеку, захист від шуму, ефективне використання ресурсів. Інженерний захист повинен забезпечити стійкість об'єктів, нормативні умови для населення, функціонування об'єктів, збереження природних ландшафтів та інші аспекти.

Важливо, щоб будівельні роботи і заходи інженерного захисту були безаварійними та безпечними, не спричиняючи нових геологічних процесів. Проекти повинні передбачати компенсаційні заходи за необхідності.

Термін служби об'єктів і заходів із інженерного захисту повинен відповідати термінам служби об'єктів, що підлягають захисту. У разі негативного впливу об'єкта на природне середовище (звалища, накопичувачі рідких відходів) термін може бути збільшений. Заходи з інженерного захисту території, будівель та споруд повинні бути комплексно розроблені з урахуванням прогнозу змін природних умов, пов'язаних із зведенням об'єктів захисту та освоєнням території.

Вибір споруд і заходів з інженерного захисту слід проводити на основі техніко-економічного порівняння варіантів попередження та захисту. Розглядаються всі види дій і деформацій, рівень відповідальності об'єктів, вартість будівель та їх конструктивні особливості, раціональне використання земельних ресурсів, містобудівні вимоги та розмірів збитків.

Завдання на проектування споруд і заходів з інженерного захисту розробляється генеральним проектувальником та узгоджується із замовником. Вихідні матеріали повинні включати дані про функціональне зонування території, стан і функціональне призначення будівель, наявні інженерні споруди та мережі, а також характеристики ґрунтово-рослинного покриву.

Заходи з інженерного захисту території обираються на основі аналізу інженерних вишукувань згідно з ДБН А.2.1-1.

Завдання на виконання інженерних вишукувань надається генеральним проектувальником. Матеріали повинні включати дані про небезпечні геологічні процеси, такі як зсуви, селєві та інші, і враховувати гідрометеорологічні та гідрологічні аспекти. Матеріали інженерних вишукувань повинні містити прогнози згідно з ДБН А.2.2-1 для оцінки природних умов території та впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Також необхідно виявити режим і характер розвитку небезпечних геологічних процесів, отримати кількісну оцінку стійкості території, прогнозувати руйнування та пошкодження об'єктів, та робити принципові рішення щодо інженерного захисту будівельних об'єктів.

У разі складних природних умов на ділянці, де неможливо отримати дані про режим небезпечних геологічних процесів, слід передбачати моніторинг за їх розвитком. Моніторинг пови-

нен виконуватися спеціалізованими організаціями за програмою, узгодженою з генеральним проектувальником та фахівцями з інженерного захисту.

Якщо категорія складності інженерно-геологічних умов визначена як Ш, Ша, Шб, то у проекті слід передбачити фізико-геологічне моделювання небезпечних геологічних процесів, враховуючи взаємний вплив з проєктованими інженерними заходами і спорудами. Моделювання також потрібно використовувати при розробці експериментальних заходів інженерного захисту, з науково-технічним супроводом об'єктів та коригуванням проєкту за необхідності.

Сейсмічна активність в Україні проявляється в західних, південно-західних та південних районах, де виділяються два основні сейсмічні регіони: Карпатський і Кримсько-Чорноморський.

Сейсмічність Карпатського регіону визначається землетрусами у Закарпатті, Карпатах, Прикарпатті та на прилеглих територіях сусідніх країн. Найбільш сейсмоактивним є Закарпаття.

За останнє століття, землетруси на заході України характеризуються глибинами джерел сейсмічної активності 2-10 км та магнітудами (M) <5.5, викликаючи локальні коливання з інтенсивністю до 7-7.5 балів. У Кримсько-Чорноморському регіоні, землетруси з епіцентрами в Чорному морі та поблизу Південного берега Криму, характеризуються магнітудами до 6.8.

Інші області України, такі як центральна та східна частини, демонструють меншу сейсмічну активність, але спостерігались окремі землетруси, зокрема в Дельті Дунаю та на заході області Одеської.

Україна має національну мережу сейсмічних станцій, що включає 18 сейсмічних та 14 комплексних геофізичних станцій, з найстарішою сейсмічною станцією "Львів", заснованою у 1899 році. У зв'язку з високою інтенсивністю розвитку геотехнологій, рекомендовано оновлення оснащення станцій країни для більш точного представлення процесів геофізичних процесів.

На даний момент існують численні геоінформаційні системи (ГІС), що представляють сучасні технології для обробки, аналізу та візуалізації геопросторових даних. Ось кілька з найновітніших ГІС, які використовуються в різних галузях: ArcGIS Pro – виробник: Esri. ArcGIS Pro - це передовий продукт від Esri, який надає розширені засоби для аналізу геоданих, візуалізації та спільної роботи.

QGIS – виробник: QGIS Development Team. QGIS (Quantum GIS) - безкоштовна та відкрита ГІС, яка має велику кількість розширень та функцій для роботи з геопросторовими даними.

Google Earth Engine – виробник: Google. Google Earth Engine - це хмарна платформа для аналізу великих обсягів земельних та супутникових даних, що дозволяє вченим та дослідникам проводити складні аналізи.

Mapbox - виробник: Mapbox. Mapbox - це платформа для розробки карт та локаційних сервісів, яка надає потужні інструменти для створення інтерактивних карт.

Sentinel Hub – виробник: Sinergise. Sentinel Hub - це платформа для роботи з супутниковими даними, зокрема високошвидкісними даними від Copernicus Sentinel.

OpenStreetMap (OSM) – виробник: Спільнота добровольців. OpenStreetMap - це проєкт, що базується на добровольцях, який надає відкриті та безкоштовні геопросторові дані.

Ці системи використовуються для різних цілей, таких як картографія, розробка міст, аналіз змін довкілля, агроекологія та багато іншого. Кожна з них має свої переваги та недоліки, і вибір конкретної залежить від потреб користувача та завдань проєкту.

В останні роки траплялося багато землетрусів внаслідок зіткнення тектонічних плит, це виникає через низку різноманітних факторів, які досліджуються науковцями. Для мінімізації пошкоджень будівель, споруд та комунікацій виникає потреба у розробці технічних заходів та засобів. Спільнота стала серйозніше ставитися до ризиків землетрусів. Інженерна практика проєктування сейсмостійких конструкцій у світі еволюціонувала від еквівалентних бокових статичних процедур до нелінійного аналізу історії відгуків протягом сорока років. Цей прогрес є результатом доступності ПК та комп'ютерних програм як засобів проєктування та розповсюдження останніх знань і досліджень у сейсмостійкому проєктуванні міжнародними та національними установами.

Хоча лінійний аналіз спектра відгуку залишається поширеним в щоденній практиці офісів для сейсмічного проєктування, нещодавно почали застосовувати проєктування сейсмостійких структур на основі результатів відгуку історії, зокрема при проєктуванні спеціальних високих будівель, відповідно до рекомендацій ініціативи PEER Tall Buildings. Зі зростанням будівницт-

ва високих будівель по всьому світу та високого сейсмічного ризику передбачається, що ця практика набуде популярності в найближчому майбутньому.

Так, як Індонезія розташована у високоактивному сейсмічному регіоні, в кінці 2012 року в країні було введено новий сейсмічний код, який використовує останні знання в сейсмічному інженерингу, зокрема використання аттенюаційних характеристик нового покоління та тривимірних сейсмічних джерел для розробки сейсмічної карти Індонезії. Останні події та виявлені нові рухливі розломи були враховані, призводячи до карти з більш високими значеннями спектрального прискорення в багатьох регіонах Індонезії. Положення цього коду тісно відповідає вимогам ASCE 7-10 та IBC 2009[12]. Таку доцільно було б вживати і на менш сейсмоактивних територіях, таких як Карпатський і Кримсько-Чорноморський регіони, за для мінімізації можливих небажаних наслідків.

Щодо будівельної сфери, окрім інноваційних структурних систем, таких як ядро-стіна з поперечниками, у Південно-Східній частині світу зростає інтерес до використання систем ізоляції основи.

Ці системи, зокрема застосування резинових опор з високим демпфуванням, модифікують відгук структури для пом'якшення сейсмічних впливів на будівлі, їх вміст та мешканців. Будівлі з сейсмічною ізоляцією на теперішній час є дуже актуальні, у зв'язку зі зростанням інтенсивності повштовхів земної кори за останнє десятиліття. Приклад будівлі з сейсмічною ізоляцією зображений на малюнку (рис.1)

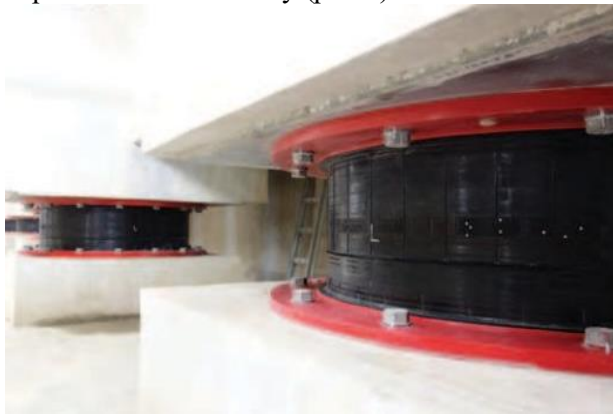


Рис. 1. Будівля з сейсмічною ізоляцією (гумові підшипники з високою амортизацією)

Будівлі з сейсмічною ізоляцією є інженерними конструкціями, які спеціально розроблені для того, щоб зменшити вплив землетрусів та максимально зберегти інфраструктуру та житлові приміщення під час сейсмічних подій. Сейсмічна ізоляція використовує спеціальні матеріали та технології для зменшення трансмісії землетрусних коливань до будівельної структури.

Сейсмічні ізолятори - це спеціальні пристрої, які встановлюються між фундаментом і будівлею. Ці пристрої дозволяють будівлі рухатися незалежно від землетрусу, а тим самим поглинають ефекти коливань та зменшують навантаження на

будівельну конструкцію.

Застосовуються гнучкі матеріали та амортизатори для поглинання коливань та зменшення впливу сейсмічних сил. Розрахунки структури враховують маси та центри тяжіння для забезпечення стабільності та мінімізації обертальних моментів під час сейсмічних подій. Використовуються стратегії амортизації для розсіювання та поглинання енергії, яка виникає під час землетрусу. Архітектурний та інженерний дизайн розробляється з урахуванням сейсмічних навантажень та можливості зменшення ризиків у разі землетрусу. Важливо здійснювати регулярний моніторинг та технічне обслуговування систем сейсмічної ізоляції для забезпечення їхньої ефективності.

Будівлі з сейсмічною ізоляцією мають значний потенціал для зменшення руйнівних наслідків землетрусів і забезпечення безпеки та стійкості будівель та їх мешканців під час сейсмічних подій.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Зроблено висновки щодо впливу гірничо-геологічних умов на безпеку об'єктів.

Визначені напрямки подальших досліджень з метою вдосконалення методів зменшення ризиків та забезпечення стійкості цивільної та промислової інфраструктури.

Список літератури

1. **Oleksandr Ye. Lapshyn, Oleksandr O. Lapshyn, and Mykola Khudyk** / The tragic consequences of the collapse of the earth's surface within the mining allotment of Ordzhonikidze mine // E3S Web Conf., - **Volume** 166, 2020., URL:

2. **Бровко Д. В.** Визначення відстані до сейсмічного явища в межах кар'єрного поля на основі звукометричних методів контролю / **Д. В. Бровко, А. О. Романенко, В. Д. Сидоренко** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2022. – Вип. 54. – С. 178–183.
3. **ДБН А.2.2-1:2021** Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС).
4. **Медведева О.О., Гальченко З.С.** «Перспективи використання техногенно порушених земель гірничодобувних регіонів»/ **О.О. Медведева, З.С. Гальченко**// Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, 17 с. XX Міжнародної науково-технічної конференції «Потураївські читання».
5. **Мар'єнков М.Г., Бабік К.М., Глуховський В.П., Самойленко С.М.** Особливості науково-технічного супроводу об'єктів будівництва в сейсмічних районах на етапах будівництва та експлуатації/ **М.Г. Мар'єнков, К.М. Бабік, В.П. Глуховський, С.М. Самойленко** // <http://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/issue/view/33>
6. **Білеуш А.І., Фрідріхсон В.Л., Кривоног О.І., Кривоног В.В.**Порушення стійкості схилів під дією розриджених ґрунтів/ **А.І. Білеуш, В.Л. Фрідріхсон, О.І. Кривоног, В.В. Кривоног** // Журнал "Наука та будівництво" 2021'1
7. **Lucy Jones, Richard Bernknopf, Susan Cannon, Len Gaydos, John Kiley and others**/ Building Resilience in Poetry. : Strategic Plan for the Southern California Multiple Hazards Demonstration Project, USGS Open Report 2007-1255, 31 p., 2007.
8. **Giuliano F. Panza (Editor), Kojiro Irikura (Editor), Mihaela Kouteva-Guentcheva (Editor), Antonella Peresan** /Advanced Seismic Hazard Assessment: Part I: Seismic Hazard Assessment (Pageoph Topical Volumes) 2011th.
9. **A. Alonso-Rodriguez, N. Nikitas, J. Knappett, and G. Kampas**/ "System Identification of Tunnel Response to Ground Motion Considering a Simplified Model", 2018.
10. **G. Andreotti, C. G. Lai**/ "A nonlinear constitutive model for beam elements with cyclic degradation and damage assessment for advanced dynamic analyses of geotechnical problems. Part II: validation and application to a dynamic soil-structure interaction problem", 2017.
11. **Thomas Jordan, Norm Abrahamson, John G. Anderson, G. P. Biasi** / Panel Review of USGS 2023 Conterminous US. Time-Independent Earthquake Rupture Forecast//Bulletin of Seismological Society of America: - 2023. - 36 p.
12. **Sukamta D.** Advances in Seismic Design and Construction in Indonesia/**Davy Sukamta**//CTBUH Research Paper, 2014.- 610 p.
13. **Tarolli, P., Rizzo, D., Brancucci, G.** (2019). Terraced Landscapes: Land Abandonment, Soil Degradation, and Suitable Management. In: Varotto, M., Bonardi, L., Tarolli, P. (Eds.), World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life. Environmental History, vol 9. Springer, Cham.
14. Soil biodiversity and soil erosion. (2018). **Joint Research Centre, European Soil Data Centre (ESDAC)**.<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-biodiversity-and-soil-erosion> [online pecypc].

Рукопис подано до редакції 17.02.24

УДК 621.771.001

В.А. ЧУБЕНКО, Л.Н. САЙГАРЕЄВ, Т.П. ЯРОШ,
В.В. ПЛОТНІКОВ, кандидати техн. наук, доценти, **А.А. ХІНОЦЬКА,** ст. викладач
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ ТОВСТИХ ЛИСТІВ

Мета роботи полягає в дослідженні параметрів гарячого прокатування товстих листів, використовуючи комп'ютерну програму DEFORM 3D. Результати дослідження забезпечують вирішення актуальної проблеми металургійного виробництва з встановлення раціональних режимів обтиснення, що дозволяють отримати якісну металопродукцію при мінімальній собівартості виробництва.

Методи дослідження базуються на використанні фундаментальних положень теорії і технології обробки металів тиском і металознавства. Для дослідження параметрів процесів гарячого прокатування товстих листів було використано моделювання за допомогою комп'ютерної програми DEFORM 3D, що дає можливість визначити режими обтиснення при обробці металів і сплавів при мінімальних вартісних витратах на експерименти. Було згенеровано модель гарячого прокатування товстого листа, для якої задано початкові розміри заготовки, режими обтиснення та температура обробки, вибрано оброблюваний матеріал, визначено його властивості та вплив на них ступеня обтиснення і температури деформації. У дослідженнях змінювався ступінь деформації; температура обробки залишалася постійною і дорівнювала 1050⁰С. Було отримано кінцево-елементну сітку і задано 90 кроків моделювання, що дозволило ретельно проаналізувати процес гарячого прокатування.

Наукова новизна полягає в дослідженні розподілу активних напружень і зусиль в осередку деформації в результаті моделювання за допомогою методу кінцевих елементів, що дозволяє визначити їх максимальні значення та можливі коливання.

Практична значимість полягає в удосконаленні технологічного процесу гарячого прокатування товстого листа за рахунок використання раціональних режимів обробки, що забезпечують мінімальні витрати енергії на процес.