Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ
ім. М.С. Полякова НАН УКРАЇНИ

Т Е З И

XXIII
Міжнародної науково-технічної конференції
«ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ»

Конференція присвячена

104-Й РІЧНИЦІ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ
АКАДЕМІКА НАН УКРАЇНИ В.М. ПОТУРАЄВА

13 лютого
Дніпро 2026

УДК 622.232
ББК 34.42
П64

Електронний збірник містить тези доповідей, поданих на XXIII щорічну науково-технічну конференцію «ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ». Основна частина матеріалів відображує наукові напрями досліджень викладачів, аспірантів і студентів кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні НТУ «Дніпровська політехніка», а також співробітників Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

До тез увійшли ряд досліджень студентів кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні, що виконані за матеріалами їх кваліфікаційних робіт.

Технічна обробка і комп'ютерний набір О.В. Анциферова

© Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», 2026

КОМП'ЮТЕРНИЙ ІНЖИНІРИНГ У МАШИНОБУДУВАННІ ЯК СТРАТЕГІЧНА МОДЕЛЬ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У СТРУКТУРІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G11 МАШИНОБУДУВАННЯ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ ОСВІТНЬОЇ КОНЦЕПЦІЇ В НОВІЙ НОРМАТИВНІЙ АРХІТЕКТУРІ)

Доцент Панченко О.В., професор Заболотний К.С.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Шановні колеги, сьогоднішня доповідь присвячена обґрунтуванню освітньої концепції програми «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні» як стратегічної моделі підготовки сучасного фахівця у структурі спеціальності G11 «Машинобудування».

Актуальність цієї теми зумовлена тим, що вища технічна освіта України функціонує вже не в колишніх класифікаційних координатах, а в новій нормативній архітектурі, сформованій змінами до переліку галузей знань і спеціальностей, а також новими підходами до побудови освітніх програм, їх акредитації, структуризації результатів навчання та перегляду змісту підготовки.

Це прямо відображено в тексті освітньо-професійної програми, де зафіксовано її розроблення з урахуванням наказу МОН № 1625, постанови Кабінету Міністрів України № 1021, актуалізованих вимог до акредитації, а також щорічного перегляду програми відповідно до змін нормативної бази.

Нова нормативна архітектура не є лише формальною зміною шифрів, назв або класифікаційних кодів, оскільки її реальний зміст полягає в переорієнтації підготовки з вузькодисциплінарної моделі на модель інтегрованої інженерної діяльності, де вирішальне значення мають системність, цифровізація, здатність працювати з повним життєвим циклом технічного об'єкта та вміння поєднувати конструкторські, технологічні, експлуатаційні й аналітичні підходи. Саме тому освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні» є не просто черговим варіантом підготовки бакалавра, а концептуальною відповіддю університету на запит промисловості, роботодавців і сучасного інженерного ринку праці.

Аналіз програми показує, що її офіційна назва, рівень, галузь знань, спеціальність і спеціалізація вже відображають нову логіку інтеграції класичного машинобудівного змісту з цифровими інструментами сучасного проєктування.

У програмі чітко зафіксовано, що йдеться про галузь знань G «Інженерія, виробництво та будівництво», спеціальність G11 «Машинобудування», спеціалізацію G11.03 «Технологічні машини та обладнання», а сама освітня програма має назву «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні».

Така структурна побудова є надзвичайно показовою, оскільки вона не відмовляється від галузевої предметності, але водночас зміщує центр ваги з традиційного описового вивчення машин до комп'ютеризованого інжинірингового опрацювання технічних об'єктів.

Мета програми сформульована як підготовка висококваліфікованих і конкурентоспроможних фахівців, здатних розв'язувати задачі комп'ютерного інжинірингу технічних об'єктів машинобудування, починаючи від формування концепції і завершуючи розробленням конструкторської документації.

Це формулювання має стратегічне значення, оскільки в ньому вже закладена повна інженерна траєкторія підготовки, яка охоплює не окрему операцію і не окрему дисципліну, а весь цикл створення технічного об'єкта, включаючи концептуалізацію, цифрове моделювання, розрахунок, візуалізацію, оптимізацію, документування і подальше впровадження. Отже, програма фактично ставить за мету підготовку не просто користувача CAD-систем або виконавця окремих розрахункових дій, а фахівця, який мислить системно і працює в логіці сучасного engineering-driven development.

Предметна область програми також побудована в сучасній системній логіці, оскільки вона включає системний інжиніринг зі створення технічних об'єктів машинобудування та їх експлуатації, процеси й обладнання галузевого виробництва, засоби випробування та контролю якості, системи технічної документації, метрології та стандартизації, а також методи комп'ютерного інжинірингу, спеціалізовані програми цифрового тривимірного моделювання і сучасні CAD/CAM/CAE-технології. Такий зміст безпосередньо доводить, що програма орієнтована не на фрагментарну передачу знань, а на формування цілісної професійної картини, де технічний об'єкт розглядається одночасно як конструкція, як функціональна система, як цифрова модель, як предмет технологічного впливу та як елемент виробничого середовища.

Особливо важливо, що в характеристиці програми наголошено на її прикладному характері, на спеціальній освіті в межах G11.03 «Технологічні машини та обладнання» та на вивченні дисциплін інженерного профілю у віртуальному середовищі з формуванням компетентностей комп'ютерного інжинірингу, починаючи з першого курсу і впродовж усього терміну навчання.

Це означає, що цифрові інструменти в програмі не є факультативним або декоративним додатком до традиційної інженерної школи, а перетворюються на наскрізний інструмент мислення, аналізу і проєктування.

Саме такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку машинобудівної освіти, де цифрове моделювання, віртуальна апробація рішень та комп'ютерно-орієнтовані методи прийняття рішень стають обов'язковою складовою професійної підготовки.

Якщо перейти від загальної концепції до аналізу структури навчального плану, то бачимо дуже важливу особливість: програма фактично поєднує три великі блоки підготовки, які в сукупності й утворюють її стратегічну цінність.

Перший блок становить фундаментальна інженерна підготовка, яка охоплює вищу математику, фізику, матеріалознавство, інженерну графіку, прикладну механіку та механіку машин і механізмів.

Другий блок утворює фахова машинобудівна підготовка, де представлено технологічні основи машинобудування, основи проєктування машин, мехатроніку та робототехніку, надійність машин і комплексів, взаємозамінність, стандартизацію та технічні вимірювання, а також інші дисципліни, без яких неможливо сформувати реального інженера-конструктора чи інженера-технолога.

Третій блок становить власне цифрова інжинірингова компонента, до якої входять тривимірне комп'ютерне конструювання, машинобудівне комп'ютерне креслення, основи комп'ютерного інжинірингу, методи моделювання при проєктуванні машин, CALS-технології в машинобудуванні, концептуальне проєктування та візуалізація виробів, а також інжиніринг у машинобудуванні. Саме поєднання цих трьох блоків перетворює освітню програму на стратегічну модель, а не на механічну сукупність окремих дисциплін.

Навчальний план 2025–2026 року підтверджує послідовність і логіку цієї побудови, оскільки з перших курсів студенти проходять фундаментальну підготовку, паралельно опановуючи комп'ютерне конструювання та технологічні основи машинобудування, а в подальших семестрах переходять до більш складних дисциплін, пов'язаних із моделюванням, проєктуванням, інжинірингом, робототехнікою, надійністю, практичною підготовкою і виконанням кваліфікаційної роботи.

Така побудова не є випадковою, оскільки вона відображає педагогічно правильний принцип поступового переходу від базових знань до складних інструментів інженерного аналізу та проєктування. Завдяки цьому студент не просто вивчає окремі програми чи алгоритми, а приходить до розуміння того, як фундаментальні закони механіки, матеріалознавства і геометрії реалізуються в конкретному цифровому інструментарії сучасного інженера.

Дуже важливим елементом аналізу є також компетентнісна та результативна структура програми. У тексті ОПП інтегральна компетентність визначена як здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми машинобудування із застосуванням новітніх технологій комп'ютерного інжинірингу, що являють собою комплекс спеціальних програм цифрового тривимірного моделювання технічних об'єктів.

Спеціальні компетентності програми доповнюють це бачення через акцент на розрахунках, моделюванні, оптимізації, використанні систем комп'ютерного проєктування, системного інжинірингу та наукомістких цифрових методів створення конкурентоспроможної продукції нового покоління. Відповідні результати навчання, зокрема РН16–РН20, безпосередньо орієнтують студента на аналіз конструкцій, підготовку CAD-геометрії, створення кінцево-елементних моделей, проведення міцнісних та оптимізаційних розрахунків, а також на розроблення технічної документації. Усе це свідчить, що програма концептуально орієнтована на підготовку інженера, який мислить цифрово, але діє в межах реальних машинобудівних об'єктів.

Разом із тим, детальний аналіз чинної структури програми виявляє одну важливу змістову проблему, яка й зумовлює потребу подальшого вдосконалення освітньої архітектури вже на 2026–2027 навчальний рік.

Йдеться про те, що в чинній версії програми важливу роль відіграє дисципліна «Технологічні умови використання виробів машинобудування», яка пов'язана з експлуатаційними, нормативними, безпековими та прикладними аспектами функціонування виробів.

Однак сама назва і змістове позиціонування цієї дисципліни свідчать про її похідний і частково прикладно-експлуатаційний характер. Вона логічно відповідає на запитання, за яких умов виріб застосовується, які чинники впливають на його функціонування, які нормативні, технологічні й безпекові вимоги супроводжують його використання, але вона не дає достатньо широкої і системної картини самого класу машин і обладнання як основних технічних об'єктів галузі. Саме в цьому полягає її методологічне обмеження для програми, яка претендує на роль стратегічної моделі підготовки інженера нового покоління.

Для освітньої програми з назвою «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні» принципово важливо, щоб цифрові інструменти не «висіли в повітрі» без чіткого предметного наповнення, а працювали на базі глибокого розуміння реальних технічних систем, їх функцій, конструкцій, навантажень, технологічних режимів, галузевих особливостей і міжгалузевих відмінностей.

Якщо в програмі є сильний блок CAD/CAE/CALS-компонентів, але недостатньо системно представлено сам клас машин і обладнання, то виникає ризик підготовки студента, який добре володіє інструментом, але не завжди має достатньо узагальнений образ об'єкта, для якого цей інструмент використовується. Саме тому оновлення програми на 2026–2027 навчальний рік повинно не послаблювати цифрову складову, а навпаки, підсилювати її через розширення і поглиблення предметної технічної бази.

У цьому контексті запровадження нового курсу «Технологічні машини та обладнання» слід розглядати не як просту зміну назви на більш сучасну чи більш

універсальну, а як принципову реконфігурацію змістового ядра програми. Нова дисципліна за своєю логікою є значно ширшою, системнішою та методологічно сильнішою, ніж чинний курс про технологічні умови використання виробів машинобудування. Якщо попередній курс концентрує увагу переважно на експлуатаційних і прикладних умовах функціонування готових виробів, то новий курс дозволяє розглядати машини та обладнання як цілісний світ інженерних об'єктів, класифікованих за призначенням, принципами дії, галузями застосування, типами навантажень, конструктивними схемами, технологічними функціями і місцем у виробничих процесах. Саме така постановка питання є оптимальною для бакалаврської підготовки, де студент має сформувати загальну професійну картину галузі, а не тільки оволодіти окремими експлуатаційними приписами.

Це цілком узгоджується з офіційним позиціонуванням спеціалізації G11.03 «Технологічні машини та обладнання» в самій освітній програмі.

Принципове значення нового курсу полягає також у тому, що він дає змогу інтегрувати в одному освітньому полі ті напрями машинобудування, які в традиційній структурі часто вивчаються відокремлено, хоча на практиці вони взаємодіють у межах реальних виробничих систем.

У межах курсу «Технологічні машини та обладнання» можуть і повинні бути об'єднані гірничі машини як машини технологічного процесу видобутку корисних копалин, металургійні машини як елемент важкого промислового комплексу, підйомно-транспортні машини й системи, що охоплюють крани, ліфти, талі, конвеєри, навантажувачі, елеватори та транспортно-складські комплекси, металорізальні верстати як основа технологічної обробки, обладнання автоматизованого виробництва, машини переробних виробництв, а також будівельні та дорожні машини як засоби технологічного впливу на матеріал, середовище або виробничий простір.

Саме така інтеграція є важливою не лише з точки зору класифікації техніки, а й з точки зору формування у студента системного інженерного світогляду.

Особливо слід підкреслити, що об'єднання зазначених класів машин в одному курсі не є штучним укрупненням змісту, а має глибоке методологічне підґрунтя. Усі перелічені групи технічних об'єктів належать до сфери технологічних машин та обладнання, оскільки вони безпосередньо реалізують або забезпечують виконання певного виробничого, транспортно-технологічного, переробного, підйомного, формоутворювального чи силового процесу.

Вони різняться галузевим призначенням, масштабом, режимами навантаження, типами робочих органів і конструктивними рішеннями, але споріднені за своєю функціональною природою як технічні засоби реалізації

технологічних процесів. Тому їх спільне вивчення в межах інтегрованої дисципліни є не компромісом, а педагогічно і науково виправданим рішенням, яке дає змогу показати студентові загальні принципи побудови, вибору, функціонування і цифрового супроводу різних класів машин.

Гірничі машини мають бути включені до нового курсу не лише з огляду на традиції університету чи наявну матеріально-технічну базу, а передусім тому, що вони є класичним прикладом технологічних машин, де особливо чітко проявляється зв'язок між конструкцією, технологічним навантаженням, умовами роботи, вимогами до надійності та цифровими методами аналізу. Наявність у програмі спеціалізованих лабораторій, полігону техніки та аудиторії з діючими моделями гірничих машин створює для цього відповідне освітнє середовище. Включення гірничого компоненту до інтегрованої дисципліни дозволяє зберегти галузеву ідентичність програми і водночас перевести її в сучасну міжгалузеву інженерну рамку.

Металургійні машини, у свою чергу, є надзвичайно важливими для формування у студентів уявлення про важке машинобудування, великогабаритні конструкції, силові та теплові навантаження, складні режими функціонування і високу відповідальність інженерних рішень. Залучення до програми зовнішніх стейкхолдерів з компаній, пов'язаних із heavy machinery engineering та металургійним інжинірингом, свідчить, що така тематика має для програми не декларативне, а реальне практичне значення. Отже, включення металургійних машин до нового курсу сприятиме кращому поєднанню освітнього змісту з потребами регіонального і національного промислового середовища.

Підйомно-транспортні машини та системи також повинні увійти до нового курсу як обов'язкова складова, оскільки сучасне виробництво неможливо розглядати ізольовано від логістики, переміщення матеріалів, внутрішньоцехового транспортування, складського забезпечення, вертикального і горизонтального перенесення вантажів, а також функціонування безперервних і циклічних транспортно-технологічних ліній. Крани, талі, ліфти, конвеєри, навантажувачі, елеватори та транспортно-складські комплекси не є лише допоміжними засобами, а часто виступають ключовими ланками технологічного ланцюга, без яких основний виробничий процес не може бути реалізований. Для студента, який вивчає комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні, надзвичайно важливо бачити, що цифрове проєктування охоплює не тільки робочий орган основної машини, а й повну систему забезпечення її функціонування в реальному виробничому середовищі.

Металорізальні верстати в новому курсі мають особливе значення, оскільки вони є класичним прикладом технологічної машини, де конструкція, кінематика, жорсткість, точність, динаміка, режими різання та засоби

автоматизації безпосередньо визначають якість формоутворення деталі. Для програми, яка орієнтована на CAD/CAE/CAM, саме верстатне обладнання дозволяє показати студентам, як цифрова модель переходить у реальне виробництво, як інженерне рішення втілюється у технологічний процес і як конструктивні параметри машини впливають на результат обробки.

У цьому сенсі металорізальні верстати утворюють природний міст між проєктуванням машин і технологічними основами машинобудування.

Обладнання автоматизованого виробництва має бути органічно вписане в новий курс, оскільки сучасне машинобудування вже давно не обмежується окремими автономними машинами і дедалі більше функціонує у форматі автоматизованих, роботизованих, інформаційно пов'язаних виробничих систем. У чинній програмі ця логіка вже присутня через дисципліни «Мехатроніка та робототехніка», «CALS технології в машинобудуванні», «Інжиніринг у машинобудуванні» та «Методи моделювання при проєктуванні машин». Проте саме курс «Технологічні машини та обладнання» має дати студенту цілісне уявлення про місце автоматизованих систем у загальній архітектурі промислового виробництва, про взаємодію одиничних машин з потоковими, гнучкими та цифрово керованими системами, а також про функціональну інтеграцію механічної, електронної, керуючої і програмної компонент.

Машини переробних виробництв та будівельні і дорожні машини також мають вагомі підстави для включення в новий курс, оскільки вони розширюють для студента розуміння машинобудування як універсальної технічної бази для багатьох секторів економіки.

У першому випадку студент отримує уявлення про обладнання, яке забезпечує подрібнення, сепарацію, змішування, формування, ущільнення, сушіння, транспортування та інші операції переробки матеріалів. У другому випадку він бачить машини, що реалізують технологічний вплив на середовище, ґрунт, будівельний матеріал, дорожнє полотно або просторову конфігурацію об'єкта. Це суттєво розширює технічний горизонт мислення і дає можливість перейти від вузької спеціалізації до цілісного бачення машинобудування як системи галузевих технологічних рішень.

Стратегічна цінність нового курсу полягає також у тому, що він здатен усунути одну з найбільш типових проблем сучасної інженерної освіти, а саме розрив між цифровим інструментом і фізичним змістом об'єкта. Коли студент працює лише з геометрією, розрахунковою схемою, сіткою скінченних елементів або анімацією технологічного процесу, але не має системного уявлення про класи машин, їх функціональне призначення, специфіку навантаження, місце в технологічних лініях та галузеві відмінності, тоді цифрова підготовка ризикує стати техніцистською, але не інженерною в повному значенні цього слова.

Натомість курс «Технологічні машини та обладнання» повертає цифровим методам предметність, а предметним знанням надає сучасну інжинірингову рамку. Завдяки цьому формується правильна логіка підготовки: від розуміння типу машини та її функції студент переходить до цифрової моделі, від моделі — до розрахунку, від розрахунку — до конструкторського рішення, а від рішення — до технологічної реалізації та оцінювання ефективності.

Таким чином, у новій редакції освітньої програми на 2026–2027 навчальний рік курс «Технологічні машини та обладнання» повинен виконати роль системоутворювального змістового модуля, який об'єднує галузеву технічну предметність, міжгалузеву інтеграцію та цифрові методи інженерного опрацювання. Його введення є повністю узгодженим із самою спеціалізацією G11.03, з предметною областю програми, з її метою, з компетентнісною моделлю, а також із ресурсною базою університету, де наявні програмні засоби SolidWorks, спеціалізовані лабораторії, полігон техніки та аудиторії з моделями гірничих машин. Отже, це не зовнішнє запозичення і не декларативне розширення тематики, а внутрішньо логічний етап розвитку вже наявної освітньої концепції.

Окремо слід наголосити, що така зміна змісту підготовки є важливою і з позицій якості освітньої програми, і з позицій акредитаційної спроможності. У тексті ОПП зазначено, що програма вже має сертифікат акредитації і що її перегляд має відбуватися відповідно до змін нормативної бази.

Отже, включення нового інтегрованого курсу можна аргументувати як крок, спрямований на підвищення внутрішньої логіки програми, посилення її структурної цілісності, поліпшення зв'язку між результатами навчання та освітніми компонентами, а також на кращу відповідність профілю спеціалізації «Технологічні машини та обладнання». Такий крок виглядає обґрунтованим не лише педагогічно, а й з погляду інституційної якості та стратегічного розвитку освітньої пропозиції університету.

Ще один важливий аспект полягає в тому, що новий курс здатен істотно підсилити практичну й профорієнтаційну складову підготовки. У програмі вже передбачені навчальна, навчально-ознайомча, виробнича та передатестаційна практики, які проходять на машинобудівних підприємствах і в проєктно-конструкторських установах. Якщо ж у структурі програми з'являється узагальнюючий курс про технологічні машини та обладнання, то практики отримують більш сильне змістове підґрунтя, оскільки студент приходить на підприємство вже з розумінням, як різні класи технічних систем співвідносяться між собою, яку роль вони відіграють у виробничому циклі, які є їх функціональні й конструктивні відмінності, а також як вони можуть бути предметом цифрового моделювання, удосконалення чи проєктного аналізу. Це робить практичну підготовку значно більш осмисленою та результативною.

У ширшому стратегічному сенсі освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні» з оновленим курсом «Технологічні машини та обладнання» формує новий тип випускника, який принципово відрізняється від традиційного бакалавра механічного профілю. Це вже не лише інженер, який знає будову окремих машин, і не лише користувач CAD-системи, який здатний створити геометричну модель або креслення. Це фахівець, який розуміє технічний об'єкт у його галузевому, технологічному, функціональному, конструктивному та цифровому вимірах одночасно. Саме така багатовимірна підготовка відповідає сучасним тенденціям розвитку машинобудування, де конкурентоспроможність визначається не окремою операцією, а здатністю швидко переходити від інженерної ідеї до віртуальної моделі, від моделі — до обґрунтованого рішення, а від рішення — до реального виробничого впровадження.

Отже, підсумовуючи проведений аналіз, можна стверджувати, що освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні» вже сьогодні має всі ознаки стратегічної моделі підготовки фахівців у межах спеціальності G11 «Машинобудування», оскільки поєднує фундаментальну інженерну базу, фаховий машинобудівний зміст і наскрізний цифровий інжиніринг.

Водночас її подальший розвиток на 2026–2027 навчальний рік закономірно потребує змістового підсилення тієї ланки, яка відповідає за цілісне уявлення про сам світ машин та обладнання. Саме тому введення курсу «Технологічні машини та обладнання» є не факультативним побажанням, а логічно необхідним кроком, що забезпечує більш повну відповідність між назвою спеціалізації, структурою освітньої програми, потребами сучасної промисловості та методологією підготовки інженера нового покоління.

Звідси випливає головний висновок доповіді: комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні повинен розглядатися не як окрема сукупність цифрових дисциплін, а як стратегічна освітня модель, у якій цифрові інструменти служать засобом глибшого розуміння, аналізу, проєктування та вдосконалення реальних технологічних машин і обладнання. Новий курс, запланований в оновленій освітній програмі на 2026–2027 навчальний рік, робить цю модель більш зрілою, більш системною, більш галузево репрезентативною і більш відповідною вимогам сучасної нормативної, освітньої та промислової реальності. Саме така логіка розвитку програми дає підстави вважати її не просто актуальною, а стратегічно перспективною для підготовки конкурентоспроможних фахівців машинобудівного профілю.

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «ВІРТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ У МАШИНОБУДУВАННІ» В МЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G11 «МАШИНОБУДУВАННЯ», СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ G11.03 «ТЕХНОЛОГІЧНІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ»

Професор Заболотний К.С., доцент Панченко О.В.
НТУ «Дніпровська політехніка»

У процесі аналізу чинної магістерської освітньо-професійної програми встановлено, що її офіційна предметна належність визначена через спеціальність G11 «Машинобудування» та спеціалізацію G11.03 «Технологічні машини та обладнання».

Водночас частина профільних освітніх компонентів, які формують фахове ядро програми, у своїх назвах не відображає безпосередньо об’єкт спеціалізації, а використовує більш загальні формулювання, пов’язані з машинобудуванням у широкому розумінні.

Така ситуація створює певну термінологічну, структурну та методологічну невідповідність між офіційно задекларованою спеціалізацією і тим, як саме профіль програми репрезентується на рівні назв дисциплін.

Зокрема, у програмі використовуються назви дисциплін «Створення інноваційних проєктів у машинобудуванні», «Інженерний аналіз технічних об’єктів машинобудування», «Композитні матеріали у дизайн-проектах машинобудування» та «Віртуальне проєктування у машинобудуванні».

За своїм змістом ці освітні компоненти орієнтовані на роботу з об’єктами, що належать саме до сфери технологічних машин і обладнання, однак ця предметна належність не винесена у назви дисциплін, а зосереджена лише в їхніх змістових модулях та внутрішніх описах.

Саме тому виникає обґрунтована потреба перенести термін «технологічні машини та обладнання» із внутрішньої змістової структури цих дисциплін безпосередньо в їх назви.

Головною підставою для перегляду назв освітніх компонентів є необхідність забезпечити повну відповідність між усіма рівнями представлення освітньої програми, тобто між її офіційною назвою, спеціальністю, спеціалізацією, освітніми компонентами, компетентностями, результатами навчання та навчальним планом.

Освітня програма повинна читатися як цілісна система, у якій кожен компонент не лише існує самостійно, а й однозначно підтверджує належність до визначеної предметної області. Якщо спеціалізація програми названа «Технологічні машини та обладнання», то профільні дисципліни магістерського рівня також мають демонструвати цю належність уже на рівні своїх назв, а не тільки на рівні анотацій або змістових модулів.

З позиції логіки сучасного проєктування освітніх програм назва дисципліни є одним із найважливіших елементів її зовнішньої ідентифікації.

Саме назва освітнього компонента найперше фіксується в навчальному плані, в індивідуальному плані здобувача, у додатку до диплома, в акредитаційних матеріалах, у силабусах і в документах, що підтверджують академічну мобільність або визнання результатів навчання. Якщо в назві дисципліни не зазначено об'єкт, який відповідає спеціалізації, тоді освітній компонент сприймається як загальногалузевий, а не спеціалізований. Для магістерського рівня така розмитість є небажаною, оскільки саме магістратура повинна демонструвати поглиблену професійну конкретизацію.

У чинних формулюваннях назв зазначених дисциплін переважають терміни, які описують підхід, спосіб діяльності або інструментальну дію, але не завжди прямо називають предмет опрацювання.

Наприклад, словосполучення «створення інноваційних проєктів» описує тип діяльності, але не уточнює, які саме технічні системи є предметом проєктування.

Аналогічно, словосполучення «інженерний аналіз технічних об'єктів машинобудування» вказує на аналітичну процедуру, але залишає надто широким сам клас технічних об'єктів. Так само «віртуальне проєктування у машинобудуванні» фіксує цифровий метод, але не вказує, що віртуальне моделювання та проєктування виконуються саме для технологічних машин та обладнання як цільового об'єкта підготовки.

З методологічної точки зору це є суттєвим недоліком, оскільки в сучасній інженерній освіті будь-який метод, інструмент або цифрова технологія повинні бути чітко прив'язані до свого предметного поля. Без цього освітній компонент набуває занадто універсального звучання і перестає бути чітким маркером спеціалізації.

Саме тому винесення терміна «технологічні машини та обладнання» в назву дисципліни дозволяє збалансувати дві складові підготовки: методологічну і предметну. Іншими словами, студент повинен одразу бачити, що він не просто виконує інженерний аналіз узагалі, а виконує інженерний аналіз технологічних машин та обладнання; не просто займається віртуальним проєктуванням, а саме віртуальним проєктуванням технологічних машин та обладнання.

Спеціалізація G11.03 «Технологічні машини та обладнання» не є другорядною формальністю, а визначає основне предметне поле професійної підготовки.

Вона конкретизує, що в межах ширшої спеціальності G11 «Машинобудування» підготовка зосереджується саме на класах машин, агрегатів, систем і комплексів, які реалізують або забезпечують технологічні процеси. Отже, коли профільні магістерські дисципліни не містять у назвах цього терміна, виникає розрив між спеціалізацією як офіційною кваліфікаційною ознакою та дисциплінами як реальними носіями змісту.

Такий розрив особливо помітний саме на магістерському рівні, де освітні компоненти повинні не лише підтримувати загальне інженерне мислення, а й фокусувати його на чітко визначених типах об'єктів. Магістр повинен працювати не з абстрактним «машинобудуванням», а з конкретними системами певної професійної ніші, у цьому випадку — з технологічними машинами та

обладнанням. Отже, перенесення відповідного терміна в назви дисциплін є необхідним для того, щоб уже на рівні формулювання навчального плану було очевидно: програма реалізує спеціалізацію 03 не опосередковано, а безпосередньо.

З педагогічної точки зору назва дисципліни безпосередньо впливає на те, як здобувач сприймає її зміст, межі та професійне призначення. Узагальнені назви часто формують у студента враження, що курс має широкий або навіть абстрактний характер, тоді як конкретизована назва відразу налаштовує його на роботу з певним класом технічних систем.

Якщо, наприклад, дисципліна називається «Інженерний аналіз технологічних машин та обладнання», студент від початку розуміє, що аналіз буде спрямований на реальні технологічні системи, їх конструктивні схеми, режими навантаження, функціональні властивості, розрахункові моделі та особливості експлуатації. У такому випадку навчальний компонент сприймається як професійно вмотивований і безпосередньо релевантний спеціалізації.

Предметна конкретизація назви також полегшує викладачу побудову логіки курсу, добір кейсів, постановку курсових або проєктних завдань, формування критеріїв оцінювання та прив'язку результатів навчання до реальних інженерних об'єктів. Таким чином, зміна назви дисципліни має не лише зовнішній, а й внутрішній дидактичний ефект. Вона допомагає зробити структуру курсу більш цілісною, а його результати — більш професійно спрямованими. Це особливо важливо для магістратури, де від здобувача очікується здатність вирішувати складні задачі в межах конкретного предметного поля.

Під час акредитації освітніх програм експертні групи оцінюють не лише фактичний зміст дисциплін, а й загальну архітектуру програми, її внутрішню логіку, послідовність формулювань та прозорість зв'язку між структурними елементами. Якщо назва спеціалізації прямо визначає предметну область, а назви ключових профільних дисциплін цього не відображають, тоді університету доводиться доводити відповідність через додаткові пояснення, змістові модулі, робочі програми та усні коментарі. З методичної точки зору така ситуація є менш сильною, ніж випадок, коли відповідність очевидна вже на рівні навчального плану.

Внесення до назв дисциплін терміну «технологічні машини та обладнання» суттєво підвищує акредитаційну прозорість програми. Це дозволяє експерту, рецензенту або роботодавцю відразу побачити, що зміст навчання прямо спрямований на реалізацію спеціалізації 03. Таким чином, поліпшується не тільки змістова, а й презентаційна якість ОПП, що є важливим чинником у сучасній системі забезпечення якості вищої освіти.

У сучасній системі інженерної освіти надзвичайно важливим є питання професійної впізнаваності випускника. Роботодавець, який аналізує освітню програму або додаток до диплома, повинен мати можливість швидко зрозуміти, з якими саме типами технічних систем працював здобувач під час навчання. Загальна назва на кшталт «у машинобудуванні» дає занадто широкий спектр можливих трактувань, тоді як назва з уточненням «технологічних машин та обладнання» конкретизує професійний профіль значно точніше. Це важливо і для

промислових підприємств, і для інжинірингових компаній, і для установ, що приймають випускників у магістратуру чи аспірантуру.

Якщо в навчальному плані магістра фігурують дисципліни з чіткою спеціалізаційною назвою, тоді кваліфікаційний профіль випускника стає більш виразним. Це особливо актуально для таких сфер, як гірниче машинобудування, металургійне обладнання, підйомно-транспортні комплекси, машини переробних виробництв, автоматизовані технологічні системи та важке машинобудування. У всіх цих сферах роботодавцеві важливо бачити, що здобувач працював саме з технологічними машинами та обладнанням, а не лише з абстрактними об'єктами машинобудування.

«Створення інноваційних проєктів у машинобудуванні». Чинна назва цієї дисципліни підкреслює інноваційну складову проєктної діяльності, але не фіксує, для яких саме технічних об'єктів ця діяльність здійснюється.

У межах спеціалізації G11.03 таке формулювання виглядає занадто широким, оскільки інноваційні проєкти можуть стосуватися транспортних систем, побутової техніки, приладобудування, енергетичних установок або інших об'єктів, які не належать безпосередньо до сфери технологічних машин та обладнання. Для усунення цієї невизначеності доцільно змінити назву на «Створення інноваційних проєктів технологічних машин та обладнання». Така назва відразу вказуватиме, що інноваційна проєктна діяльність магістра пов'язана саме з об'єктами спеціалізації 03.

«Інженерний аналіз технічних об'єктів машинобудування». Ця дисципліна має, мабуть, найбільшу потребу в уточненні назви, оскільки термін «технічні об'єкти машинобудування» є надто широким, абстрактним і мало спеціалізованим. У межах магістерської програми, де важливе значення має поглиблення фахової ідентичності, більш коректною є назва «Інженерний аналіз технологічних машин та обладнання». Така зміна не лише звужує предметне поле до меж спеціалізації, але й надає дисципліні чіткішого професійного фокусу. Студент одразу розумітиме, що інженерний аналіз охоплює конкретні класи машин, агрегатів, ліній, установок і комплексів, а не будь-які технічні об'єкти взагалі.

«Композитні матеріали у дизайн-проектах машинобудування». Назва цієї дисципліни потребує корекції з двох причин одночасно. По-перше, вона не містить прямої вказівки на спеціалізацію «технологічні машини та обладнання». По-друге, у ній використано словосполучення «дизайн-проектах», яке для інженерної магістратури з машинобудування звучить менш точно, ніж термін «проєктування». У межах інженерної підготовки використання композитних матеріалів повинно розглядатися насамперед у контексті міцності, масової ефективності, технологічності, довговічності та конструктивної доцільності. Саме тому більш обґрунтованою є назва «Композитні матеріали у проєктуванні технологічних машин та обладнання». Така редакція точніше відповідає і спеціалізації, і інженерному змісту магістерської програми.

«Віртуальне проєктування у машинобудуванні». Ця дисципліна є центральною для всієї магістерської програми, але саме тому її назва повинна бути максимально узгодженою зі спеціалізацією. Нинішнє формулювання

акцентує цифровий підхід, однак не конкретизує, що віртуальне проєктування виконується для об'єктів спеціалізації 03. Запропонована назва «Віртуальне проєктування технологічних машин та обладнання» дозволяє прямо поєднати цифровий інструмент і предметну сферу його застосування. Це особливо важливо, оскільки вся програма позиціонується як така, що реалізує віртуальне проєктування не в абстрактному цифровому середовищі, а в межах підготовки магістра з технологічних машин та обладнання.

З огляду на наведене, доцільно рекомендувати такі перейменування:

- «Створення інноваційних проєктів у машинобудуванні» → «Створення інноваційних проєктів технологічних машин та обладнання».
- «Інженерний аналіз технічних об'єктів машинобудування» → «Інженерний аналіз технологічних машин та обладнання».
- «Композитні матеріали у дизайн-проектах машинобудування» → «Композитні матеріали у проєктуванні технологічних машин та обладнання».
- «Віртуальне проєктування у машинобудуванні» → «Віртуальне проєктування технологічних машин та обладнання»

Запропоновані зміни мають комплексний позитивний ефект для всієї освітньої програми. Передусім вони забезпечують пряму і очевидну відповідність назв дисциплін спеціалізації G11.03, що зміцнює внутрішню логіку програми. Крім того, вони підвищують предметну визначеність освітніх компонентів, роблячи їх професійно зрозумілими для студентів, роботодавців, стейкхолдерів та акредитаційних експертів. Не менш важливо, що такі зміни посилюють інженерну ідентичність магістерської підготовки, оскільки переводять акцент із загальних формулювань на чітко окреслений клас технічних систем.

На рівні академічної логіки ці зміни сприятимуть кращому узгодженню між навчальним планом, силабусами, компетентностями, результатами навчання та тематикою кваліфікаційних робіт. На рівні позиціонування програми вони дозволять чіткіше репрезентувати її як програму, орієнтовану на цифрове, аналітичне та проєктне опрацювання саме технологічних машин та обладнання. На рівні акредитації вони спростять доведення відповідності між спеціалізацією та освітніми компонентами, а отже підвищать загальну переконливість освітньої архітектури.

Висновок

Перенесення терміна «технологічні машини та обладнання» із внутрішніх змістових модулів у назви профільних дисциплін магістерської освітньо-професійної програми є методично доцільним, структурно необхідним і спеціалізаційно обґрунтованим рішенням. Такий крок забезпечує повнішу відповідність спеціалізації G11.03, робить освітню програму більш прозорою, послідовною та професійно ідентифікованою, а також підсилює її інженерний і акредитаційний потенціал. З огляду на це, пропоновані зміни слід розглядати не як суто редакційне уточнення, а як важливий елемент вдосконалення освітньої архітектури магістерської програми.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЬОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ ГАЛЬМОВИХ ДИСКІВ КАНАТОМІСТКИХ БАРАБАНІВ ШАХТОВИХ ПІДІЙМАЛЬНИХ МАШИН

Проф. Заболотний К.С., доц. Панченко О.В., доц. Симоненко В.В.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Сучасний розвиток гірничодобувної промисловості супроводжується зростанням глибин розробки родовищ, маси підйомних посудин та продуктивності шахтових підіймальних машин (ШПМ). У зв'язку з цим актуальним є застосування ШПМ з барабанами збільшеної канатомісткості, що забезпечує необхідну довжину навивки каната.

Одним із типових конструктивних рішень є шахтова підіймальна машина з циліндричним розрізним барабаном типу ЦР-6,75×6,2/1,95 (ПрАТ «НКМЗ») (рис. 1), конструкція якого включає заклинену та переставну частини. Збільшення канатомісткості барабана у цьому випадку досягається за рахунок збільшення його осьової довжини.

У зазначеній машині застосовується дискова гальмова система, гальмові диски якої жорстко пов'язані з обичайкою барабана, що висуває підвищені вимоги до його геометричної стабільності та осьової жорсткості. Подовження заклиненої і, особливо, переставної частини істотно впливає на напружено-деформований стан барабана, зумовлюючи зростання осьових деформацій гальмових дисків і потребуючи детального аналізу жорсткісних характеристик конструкції в умовах експлуатаційних навантажень [1-2].

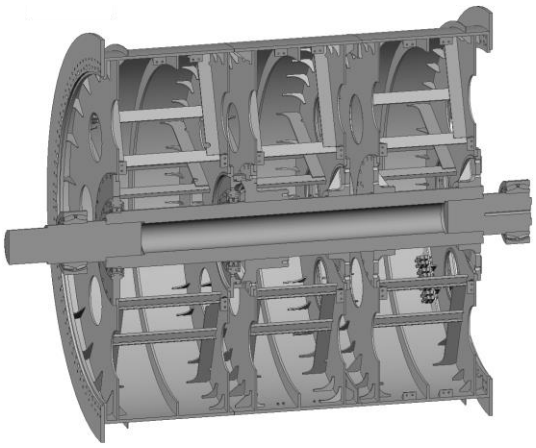


Рис. 1

Відповідно до технічних вимог ПрАТ «НКМЗ», максимальні осьові деформації гальмових дисків не повинні перевищувати 1,5 мм, оскільки їх перевищення призводить до порушення роботи гальмової системи та прискореного зносу її елементів.

У конструкціях барабанів шахтових підіймальних машин традиційно застосовуються ребра жорсткості, кільцеві шпангоути та косинки, однак зі збільшенням осьової довжини барабана їх ефективність знижується через переважно локальний і площинний характер роботи, що не забезпечує формування достатньо жорсткої просторової схеми. Найбільших деформацій зазнає переставна частина розрізного циліндричного барабана, де під дією натягу канатів, тиску навитого каната та власної ваги виникають значні осьові переміщення лобовин і гальмових дисків, що може призводити до втрати геометричної стабільності. Оцінювання осьових деформацій виконано шляхом покрокового чисельного моделювання процесу намотування каната на барабан.

На рисунку 2 наведено результати чисельного аналізу осьових деформацій барабана шахтової підіймальної машини. Максимальні деформації зафіксовано у гальмовому диску переставної частини, де вони досягають 3,6 мм, тоді як у диску заклиненої частини їх величина становить 1,3 мм. Деформаційне поле охоплює

всю довжину оболонки барабана та має асиметричний характер, що призводить до зміни просторового положення гальмових дисків. У межах переставної частини спостерігаються прогин і осьове зміщення лобовин, вигин обичайки та формування конічної геометрії, що свідчить про втрату геометричної стабільності та недостатній рівень осьової жорсткості конструкції. Отримані результати підтверджують доцільність підвищення жорсткості переставної частини барабана з урахуванням просторової взаємодії його елементів.

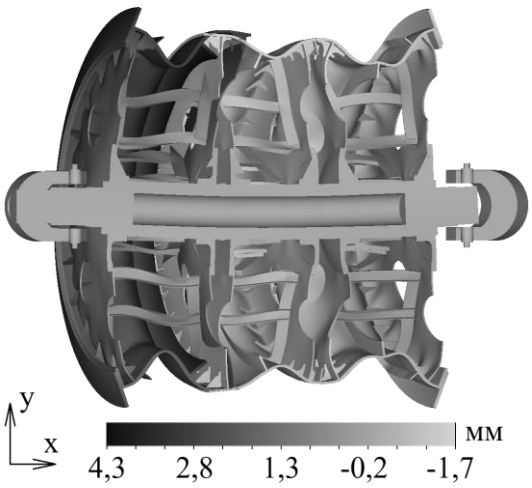


Рис. 2

Аналіз результатів чисельного моделювання, показав, що вихідна конструкція барабана з одним кільцевим шпангоутом товщиною 40 мм не забезпечує виконання нормативної вимоги щодо обмеження осьових деформацій гальмового диска, оскільки максимальне значення осьового переміщення становить 3,6 мм, що істотно перевищує допустиме значення. У зв'язку з цим з метою підвищення осьової жорсткості переставної частини барабана було виконано серію конструктивних модифікацій з подальшим скінченно-елементним аналізом їх ефективності.

Зокрема, було розглянуто такі варіанти підкріплення переставної частини:

- потовщення існуючого кільцевого шпангоута з 40 до 80 мм, максимальна осьова деформація гальмового диска склала 3,5 мм;
- встановлення додаткового кільцевого шпангоута між лобовинами при збереженні товщини 40 мм – 3,4 мм;
- застосування двох кільцевих шпангоутів, потовщених до 80 мм – 3,1 мм;
- доповнення конструкції з двома потовщеними шпангоутами косинками типу 2 товщиною 20 мм – 2,9 мм;
- аналогічне підкріплення косинками типу 3 товщиною 20 мм – 2,9 мм;
- збільшення товщини ребер жорсткості з 20 до 40 мм у поєднанні з попереднім варіантом підкріплення – 3,2 мм.

Таким чином, реалізовані заходи підсилюють переважно окремі елементи конструкції та не формують ефективної просторової системи жорсткості, здатної протидіяти осьовим деформаціям і крученню лобовин. Розглянуті модифікації не забезпечили зменшення максимальної осьової деформації гальмового диска до допустимого значення 1,5 мм, що зумовлює необхідність пошуку інших, у тому числі із застосуванням принципово нових просторових підкріплень.

Література.

1. Zabolotnyi, K., Zhupiev, O., & Molodchenko, A. (2015). Analysis of current trends in development of mine hoists design engineering. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 175-179.

2. Ilin S.R., Samusia V.I., Ilina I.S., Ilina S.S., 2016. Influence of dynamic processes in mine hoists on safety exploitation of shafts with broken geometry. *Scientific bulletin of the National Mining University*, No. 3, pp. 42–47.

ПЕРЕРОБКА ЛЕЖАЛОЇ ЗОЛИ ІЗ ЗОЛОСХОВИЩА

зав. відділу д.т.н. Шевченко Г.О., с.н.с. Чолишкіна В.В.,
н.с. Курілов В.С., м.н.с Лебедь Г.Б.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Лежалу золу мокрого зберігання доцільно і економічно переробляти мокрими способами, такими як гідрокласифікація і гідросепарація. На відміну від сухої поточної золи, лежала є більш тонкою, і має більш високий вміст вуглевмісної фракції в тонких класах менших 40–50 мкм [1]. Густина твердої фази золи була виміряна експериментально для золи Придніпровської ТЕС і становила для некласифікованої золи і крупних класів +50 мкм - 2,0 г/см^3, для класів −50 мкм 1,98 г/см^3.

Метою роботи є позбавити золу від залишків неспаленого вугілля і, за рахунок цього, отримати кондиційну будівельну масу. Ідея роботи полягає в розділенні сировини на тонку і грубу фракції в голові процесу і їх окрему переробку. Блок схема технології приведена на рис 1.

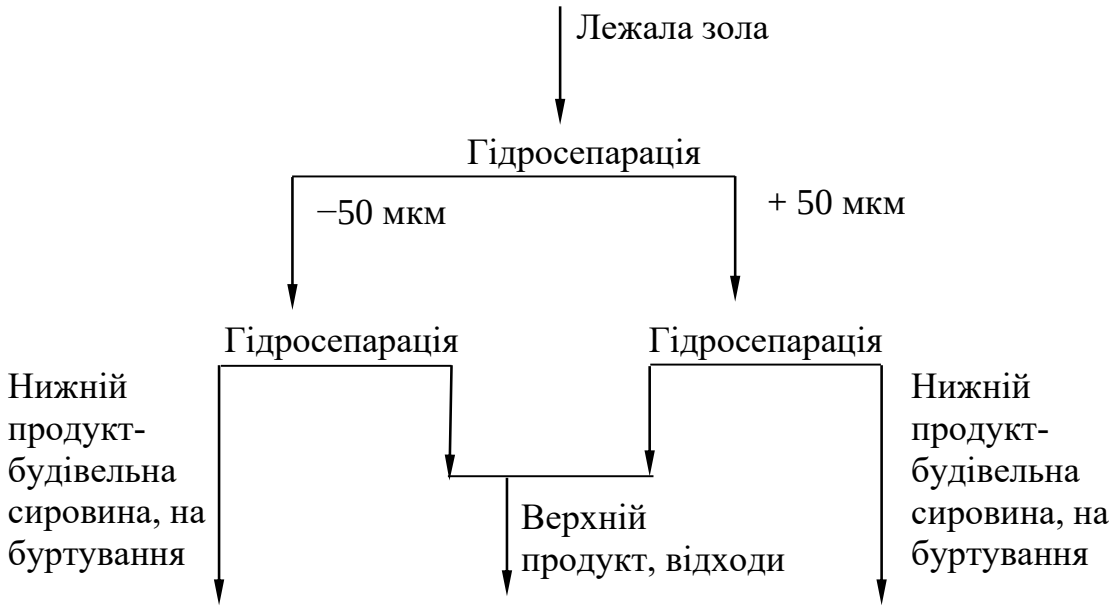


Рис.1

Вибір в голові процесу операції гідросепарації, а також гідросепарація для окремого збагачення класів +50 і -50 мкм обумовлений тонкою крупністю золи і вагомими обмеженнями на інше гідравлічне обладнання. Так, відомо, що оптимальна крупність відсаджувальних машин становить від 50 мм до 0,2 мм.

Розроблена технологія переробки мокрої лежалої золи із золосховища забезпечує вихід будівельної сировини з вмістом вугілля близько 5% в кількості 60% від вихідної маси золи.

Література

1. Granulometric composition of thermal power plant waste / Shevchenko G.O., Cholyshkina V.V., Sukharyev V.V., Kurilov V.S., Lebed H.B.// Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. / ІГТМ НАН України. – Дніпро, 2023.–Вип.165 – С.72-84.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРОВІДЖИМАННЯ ПРИВИБІЙНОЇ ЗОНИ ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА

Член.-кор. НАН України, докт. техн. наук Круковський О.П.,
проф. Мінєєв С.П., докт. техн. наук Круковська В.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Вода є одним із ключових елементів, що впливають на перебіг газодинамічних процесів у вугільних пластах, тому методи, пов'язані із нагнітанням води у вугільний пласт, використовуються для запобігання викидів вугілля та газу. Гідровіджимання здійснюється шляхом високонапірного нагнітання води в привибійну частину вугільного пласта через шпури. Основними параметрами цієї технології є розташування шпурів і реперів для вимірювання зміщення вибою, діаметр, глибина герметизації і довжина шпурів, максимальний P_{max} і кінцевий $P_к$ тиск води, що нагнітається. Гідровіджимання вважають ефективним, якщо тиск води при нагнітанні знизиться до $P_к$, відбудеться витік води із вибою виробки і зміщення вибою досягне нормативного значення [1]. Проте є ще багато проблем, пов'язаних із застосуванням цієї технології, яка потребує подальшого вдосконалення. Тому метою даної роботи було чисельне дослідження геомеханічних і фільтраційних параметрів в привибійній зоні вугільного пласта в процесі гідровіджимання.

Для моделювання процесу гідровіджимання виконувався зв'язаний аналіз «фільтрація рідини і газу/пружно-пластичне деформування». Граничні і початкові умови для поставленої задачі:

$u_x = 0$ на S_1; $u_y = 0$ на S_2;

$\sigma_{xx} = p_{inj} \sin\alpha$, $\sigma_{yy} = p_{inj} \cos\alpha$ на S_3 (лише під час нагнітання);

$p = p_{inj}$ on S_3 (лише під час нагнітання); $p = p_{at}$ на S_1 і S_2; $p = p_{at}$ on S_4;

$p_g = p_{g0}$ на S_1 і S_2; $p_g = p_{at}$ on S_4;

при $t = 0$ $\sigma_{xx} = \lambda\gamma H$, $\sigma_{yy} = gH$, $u_x = 0$, $u_y = 0$, $p = p_{at}$, $p_g = p_{g0}$,

де u_x, u_y – переміщення вздовж осей x та y, м; S_1, S_2 – вертикальні та горизонтальні межі зовнішнього контуру; σ_{xx}, σ_{yy} – компоненти тензора напружень, Па; p_{inj} – тиск нагнітання, Па; α – кут нахилу свердловини, град.; S_3 – контур незагерметизованої частини свердловини; p – тиск води, Па; $p_{ат}$ – атмосферний тиск, МПа; S_4 – контур виробки; p_g – тиск газу, Па; p_{g0} – пластовий тиск газу, Па; S_5 – рухомий фронт фільтрації; t – час, с; λ – коефіцієнт бокового розпору; γ – усереднена вага розташованих вище гірських порід, Н/м^3; H – глибина ведення гірничих робіт, м.

Десорбція газу з порушених ділянок вугільного пласта враховувалася за допомогою члена сток/джерело у рівнянні фільтрації газу. Ефект впливу води на міцнісні властивості вугілля ураховувався через зниження вдвічі його природної міцності в зоні нагнітання води, яка визначалась за критерієм $p > 2p_{ат}$.

При виконанні розрахунків було прийнято, що глибина ведення робіт $H = 1000$ м; природна газоносність вугільного пласта – 22 м^3/т, його природна проникність $k_0 = 0{,}001$ мД. Параметри гідровіджимання, які було використано при розрахунках: довжина свердловини – 3,5 м; довжина фільтрувальної части-

ни свердловини – 0,3 м; тиск нагнітання p_{inj} = 40 МПа. Початок нагнітання – на 12-й часовій ітерації i, Δt = 20 хв.

Результати розрахунків геомеханічних і фільтраційних параметрів в привибійній зоні вугільного пласта в процесі нагнітання (i = 14) показано на рис. 1.

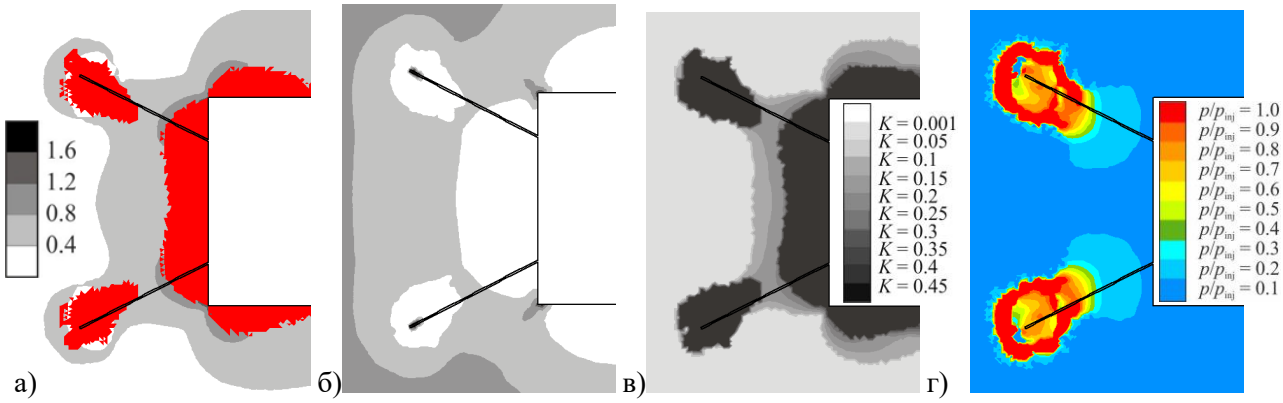


Рис. 1. Результати розрахунку: а) параметр $Q^* = (\sigma_1 - \sigma_3)/\gamma H$ і зони непружних деформацій (червоний колір); б) параметр $P^* = \sigma_3/\gamma H$; в) коефіцієнти проникності, мД; г) відносний тиск води p/p_{inj}

В зоні гідравлічного впливу навколо фільтруючих частин свердловин зростають переміщення вугільного пласта і формуються зони непружних деформацій. Пропускна здатність існуючих та новостворених фільтраційних каналів у цій зоні збільшується. Поступово розширюється область гідравлічного впливу, відбувається вихід води на вибій, його зміщення досягає контрольного значення в прийнятих при моделюванні умовах (рис. 2).

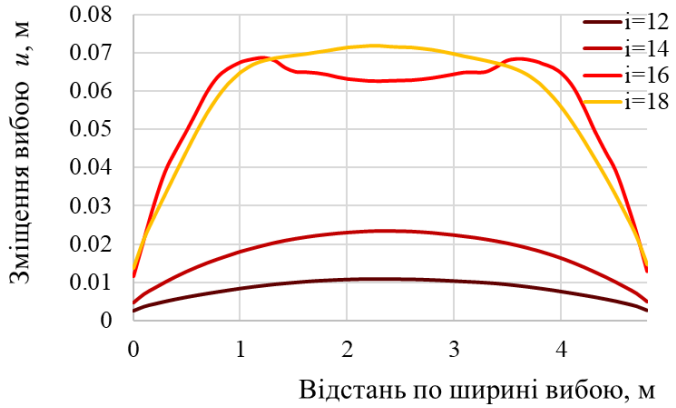


Рисунок 2 – Зміщення вибою гірничої виробки в різні моменти часу

Після закінчення нагнітання процеси перерозподілу поля напружень і деформування вугільного пласта уповільнюються і повертаються до квазістаціонарного режиму.

Література

1. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гонних робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. Стандарт Мінвуглепрому України. – Київ: Мінвуглепром України, 2005. – 222 с.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗНИЖЕННЯ СОБІВАРТОСТІ РОЗМІЦНЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Професор Мінєєв С.П., голов. конструктор Антончик В.Є., доцент Ганкевич В.Ф.
ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України
Доцент Лівак О.В., студент Вахалін Є.Д.
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Українського державний університету науки і технологій
Старший викладач Кіба В.Я.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Одним із відомих методів інтенсифікації видобутку нафти й газу є закачування під тиском перегрітої пари в продуктивний пласт через видобувні свердловини, що забезпечує тепловий вплив на породу, однак не супроводжується формуванням керованої теплової хвилі в масиві.

Інший метод полягає в прогріванні масиву через пробурену свердловину теплоносієм (перегрітою парою або гарячим повітрям) з подальшим різким охолодженням (водою або рідким азотом), унаслідок чого виникає термоудар [1]. Недоліком цього способу є необхідність різкої зміни режимів нагрівання та охолодження, що потребує переобладнання, значних часових витрат і унеможливлює формування в масиві стійкої теплової хвилі.

Запропонована авторами технологія розміцнення масиву гірських порід ґрунтується на максимально швидкому переході від нагрівання гарячим теплоносієм під тиском до охолодження тим самим теплоносієм під тиском з метою створення в масиві рухомої теплової хвилі. Нагрівання та охолодження здійснюються однією й тією ж речовиною в одному агрегатному стані (наприклад, вода–вода або пара–пара), що забезпечує безперервність формування теплової хвилі в породі [2].

Циклічність подачі нагрітої та охолодженої речовини, а також різниця температур у межах 40–200°C (залежно від типу породи) визначені експериментальним шляхом. Амплітуда температурних коливань визначає інтенсивність теплового впливу на пласт, а періодична зміна режиму закачування призводить до формування пульсуючої теплової хвилі.

Під дією температурних напівхвиль порода зазнає чергування стискання при нагріванні та різкого розвантаження з виникненням розтягувальних напружень при охолодженні, що спричиняє утворення тріщин у масиві. У результаті поширення теплових хвиль колекторні властивості порід суттєво зростають, що забезпечує підвищення видобутку нафти. Запропонований спосіб не створює технічних або технологічних ускладнень.

Література

1. Пат. 154853. Україна: МПК E21C37/16, E21C41/24. Спосіб розміцнення масиву міцних гірських порід / Ганкевич В.Ф., Васильєв Д.Л., Лівак О.В.. u202301064, заявл. 15.03.2023, опубл. 28.12.2023. Бюл. №52.
2. Пат. 161823. Україна: МПК E21C37/16 E21C41/24 Спосіб створення тріщин в масиві гірських порід / Антончик В.Є., Мінєєв С.П., Лівак О.В., Вахалін Є.Д., u202502115, заявл. 05.05.2025, опубл. 07.01.2026. Бюл. №1.

РОЗРАХУНОК ТА ОЦІНКА МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛИСКИ І ПРИВАЛКОВОЇ СТІНКИ ВАГОНОПЕРЕКИДАЧА

Аспірант Никитюк М.В., доцент Панченко О.В., професор Заболотний К.С.
НТУ «Дніпровська політехніка»

У роботі представлено результати розрахунку навантаження та перевірки міцності основних несучих елементів колиски й привалкової стінки вагоноперекидача при перекиданні чотиривісного піввагона. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення надійності та безпечної експлуатації перевантажувального обладнання при дії значних статичних і динамічних навантажень.

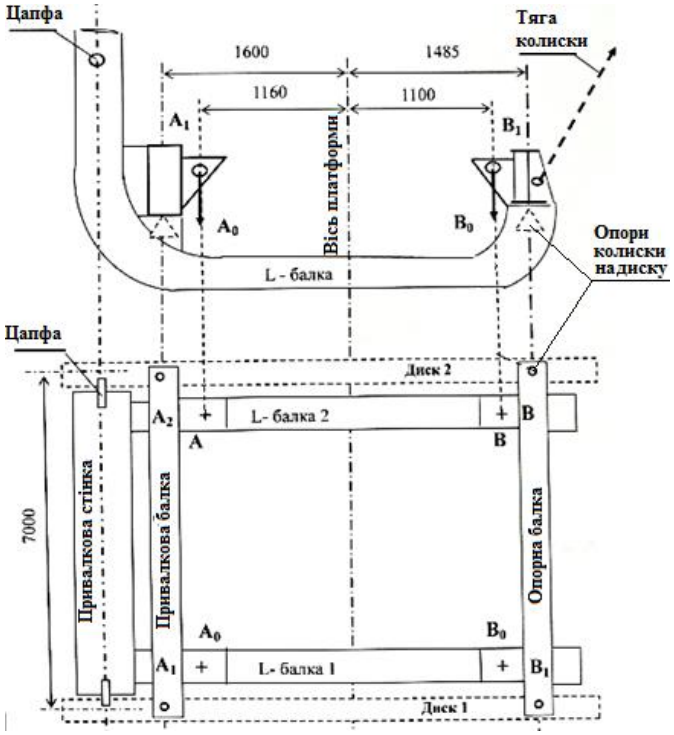
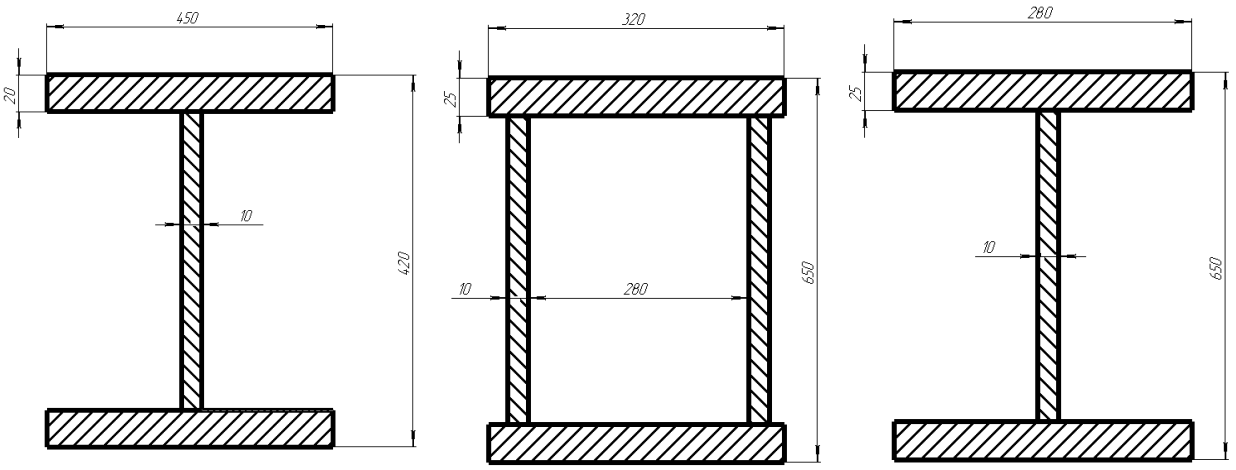


Рис. 1

Розрахунок виконано для випадку перекидання найбільш навантаженого піввагона із сумарною масою (з урахуванням тари та вантажу), а також із врахуванням власної ваги платформи й колиски. Схему прикладання зусиль та розташування опор наведено на рис. 1.

Визначення максимальних навантажень здійснювалося для декількох розрахункових положень: вихідного положення, початкової привалки, повної привалки та процесу перекидання. При цьому враховувався можливий перекіс вантажу до привалкової стінки, що створює додаткові згинальні та крутні моменти. Поперечні перерізи основних балок колиски (L-балки, привалкової та опірної балок) наведено на рис. 2.



а б в

Рис. 2

Міцність елементів визначали за стандартними методиками опору матеріалів із використанням розрахунків на вигин, сумісну дію вигину та кручення, а також при складному напруженому стані. Обчислювали нормальні, дотичні та приведені напруження, після чого визначався запас міцності з урахуванням коефіцієнтів динамічності, безпечності та послаблення металу зварюванням.

Результати показали, що для L-балки колиски мінімальний запас міцності становить 1,32 у режимі початкової привалки, а максимальний – 3,67 у вихідному положенні. Для опірної та привалкової балок запас міцності змінюється в межах 1,74–2,66 залежно від розрахункового випадку, що відповідає допустимим нормам експлуатації.

Окремо виконано розрахунок привалкової стінки, яка сприймає значні навантаження при повороті ротора.

Розрахунок враховував рівномірний розподіл ваги завантаженого вагона по поверхні рухомих стінок. Проаналізовано міцність привалкової рами, нижньої балки з урахуванням кручення, поперечних і поздовжніх балок рухомої стінки, а також елементів при можливому зміщенні вагона.

Отримані результати свідчать, що мінімальний запас міцності для елементів привалкової стінки становить 1,00–1,13 у найбільш навантажених вузлах, а максимальний досягає 1,60. Загальний діапазон запасу міцності конструкції складає 1,0–3,7, що є допустимим для даного типу обладнання з урахуванням умов експлуатації.

Таким чином, проведений комплексний розрахунок підтвердив працездатність і надійність конструкції колиски та привалкової стінки вагоноперекидача при дії розрахункових навантажень. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації перерізів балок, уточнення коефіцієнтів запасу міцності та подальшого вдосконалення конструкції з метою підвищення ресурсу та безпеки експлуатації.

Література

1. Промисловий транспорт. Переробна спроможність вантажних фронтів: приклади та задачі : навчальний посібник / М. І. Березовий, І. Я. Сковрон, С. В. Боричева, В. В. Малашкін // Український державний університет науки і технологій – Дніпро, 2023. – 135 с.
2. Bulk materials handling equipment (n.d.). Retrieved February 10, 2025, from https://www.dts.dp.ua/en/factories/dnieprotiazhmash/products/transportno-razghruzochnoie-oborudovaniie/rotornyi-statsionarnyi-vrs-75s-vrs-120s.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ПОРОДОРУЙНУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОШАРОВИХ ТЕРМОБІМЕТАЛІЧНИХ КОНСОЛЕЙ

Доцент Ганкевич В.Ф.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
Доцент Лівак О.В., студент Вахалін Є.Д.
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Українського державного університету науки і технологій

Одним із перспективних напрямів інтенсифікації процесу руйнування гірських порід є використання термоциклічного впливу, що поєднує нагрівання породи та її подальше різке охолодження, внаслідок чого в масиві формується система мікро- та макротріщин і відбувається незворотне розміцнення матеріалу.

У роботі [1] розглянуто конструкцію алмазної бурової коронки, в якій реалізовано принцип термоциклічного розміцнення гірських порід без ускладнення загальної схеми інструменту. Принциповою особливістю конструкції є багатошарове виконання консолей з матеріалів, що мають різні коефіцієнти теплового розширення.

Під час роботи коронки алмазовмісні сектори здійснюють механічне різання породи, а фрикційні консолі, взаємодіючи із забоєм, забезпечують локальне нагрівання гірського масиву до високих температур. Подальше проходження промивальних каналів призводить до різкого охолодження нагрітої ділянки породи промивальною рідиною, що викликає розвиток розтягувальних напружень і формування тріщин розриву. Наступний сектор коронки працює вже по ослабленій породі, що знижує опір різанню та підвищує швидкість буріння.

Використання термобіметалічних консолей дозволяє компенсувати негативний вплив температурних деформацій. За рахунок різниці коефіцієнтів теплового розширення шарів консоль при нагріванні вигинається у бік забою, забезпечуючи стабільне та надійне притискання фрикційного шару до поверхні породи протягом усього робочого циклу. Це дає змогу підтримувати високий рівень тепловиділення в зоні тертя без додаткових пружинних або гідравлічних пристроїв.

Результати експериментальних і аналітичних досліджень свідчать, що термоциклічний вплив із нагріванням породи до температур 600–1000 °C і подальшим охолодженням водою призводить до багаторазового зниження її мікротвердості та міцності. Застосування запропонованої конструкції коронки забезпечує інтенсифікацію процесу буріння, зниження зносу алмазних елементів і підвищення загальної ефективності роботи бурового інструменту при розробці міцних гірських порід.

Література

1. Ганкевич В. Ф.; Вахалін Ю. М.; Лівак О. В. Термомеханічний породоруйнуючий інструмент: пат. 131521 Україна. № u201804859; заявл. 03.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. №2. 5 с.

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ HOT SPOT STRESS ТА EFFECTIVE NOTCH STRESS У РОЗРАХУНКАХ РЕСУРСУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ У МЕХАНІЗМІ ТЮБІНГОУКЛАДАЧА

Доцент Панченко О.В., професор Заболотний К.С.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Сучасні умови експлуатації механізмів тюбінгоукладачів характеризуються дією змінних багатокомпонентних навантажень, що зумовлює виникнення локальних зон підвищених напружень у зварних з'єднаннях [1, 5]. На рис. 1 показано комп'ютерну модель механізму тюбінгоукладача та поле еквівалентних напружень за критерієм von Mises, отримане методом скінченних елементів.

Аналіз результатів моделювання дозволив виявити регулярні та сингулярні концентратори напружень. Приклад регулярного концентратора, що виникає в зоні отвору, наведено на рис. 2. На відміну від нього, на крайках зварних швів спостерігається сингулярний характер зростання напружень.

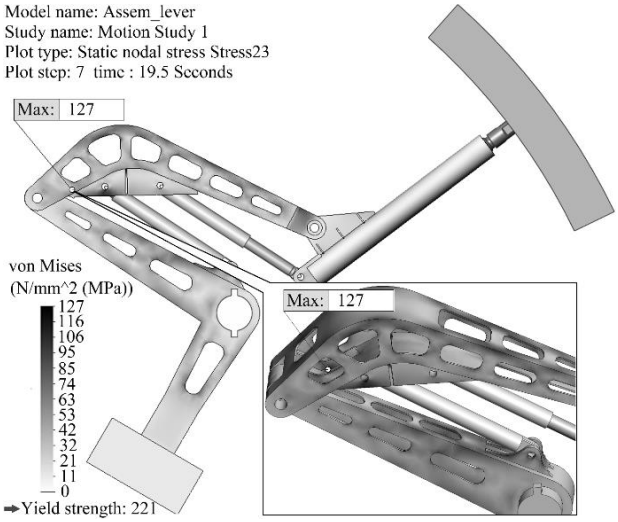


Рис. 1

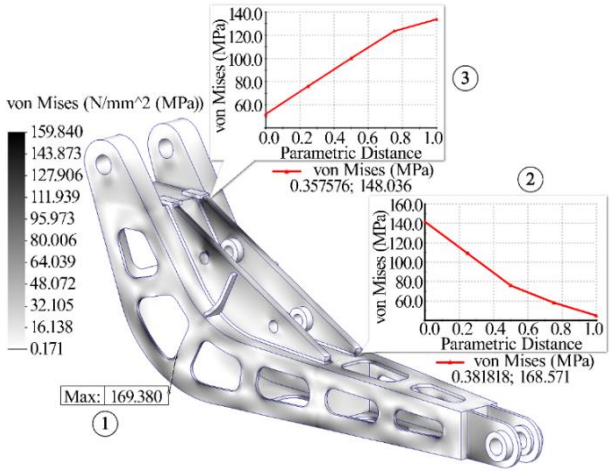
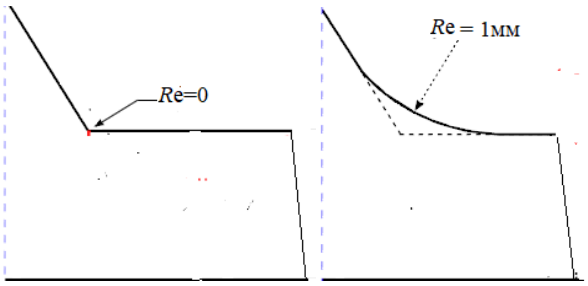


Рис. 2

Для коректного врахування впливу сингулярних концентраторів застосовано метод Effective Notch Stress (ENS), який передбачає моделювання ефективного радіуса заокруглення в зоні концентратора [6] (рис. 3). Це дозволяє уникнути математичної сингулярності та визначити еквівалентні напруження для подальшого оцінювання втомної довговічності за кривою FAT225.



а б

Рис. 3

Порівняння результатів визначення довговічності зварних з'єднань методами Hot Spot Stress (HSS) та Effective Notch Stress (ENS) наведено на рис. 4. Встановлено, що за певних значень геометричних параметрів шва

розбіжність між результатами може перевищувати 20 %, що свідчить про необхідність комплексного використання двох підходів.

У результаті серії обчислювальних експериментів встановлено залежність ефективного радіуса заокруглення [R_{ENS}] від висоти катета зварного шва b та типу ребра. Відповідні результати подано на рис. 5. Для з'єднань із поздовжнім ребром зростання радіуса заокруглення відбувається інтенсивніше порівняно з поперечним.

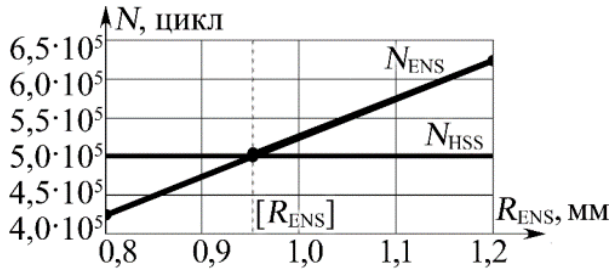


Рис. 4

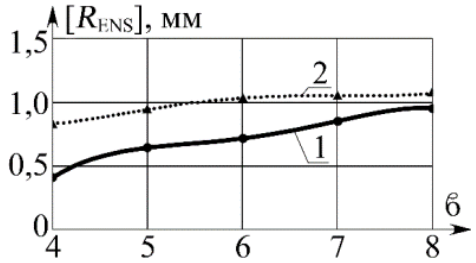


Рис. 5

Таким чином, інтеграція методів HSS та ENS з урахуванням особливостей сингулярних концентраторів напружень дозволяє підвищити достовірність прогнозування довговічності зварних з'єднань механізму тюбінгоукладача та може бути використана під час проєктування й модернізації відповідальних конструкцій.

Література

1 Zabolotny, K., Sirchenko, A., Zhupiev, O. (2015). The development of idea of tunnel unit design with the use of morphological analysis. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 175–179. https://www.researchgate.net/publication/327964463_The_development_of_idea_of_tunnel_unit_design_with_the_use_of_morphological_analysis

2. Zabolotnyi, K., Zhupiiev, O., Panchenko, O., Tipikin, A. (2020). Development of the concept of recurrent metamodeling to create projects of promising designs of mining machines. *E3S Web of Conferences*, 2020, 201, 01019. https://doi.org/10.1051/e3sconf/ 202020101019

3. Zabolotnyi, K., Panchenko, O., Zhupiiev, O. (2022). Modelling of Stress-Strain State of The One Leaver Tunnel Erector. *Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources: Book of Abstracts 5 th International Scientific and Technical Internet Conference*, Petroșani, Romania, pp. 230-232. https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2022_Book_of_Abstracts.pdf

4. Panchenko, O. (2023). Assessing the accuracy of modeling the tubbing erector manipulator mechanism in SOLIDWORKS MOTION program. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023, (3)*, 75-80. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/075.

5. Panchenko, O. (2023). Substantiating a method for computer analysis of the stress-strain state of the tubbing erector manipulator mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023, (4)*, 75-80. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/062.

6. Hobbacher AF. *IIW Collection: Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*. Springer International Publishing; 2016/

КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ПОРОДНИХ ЗРАЗКІВ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

Провідний науковий співробітник Скіпочка С.І.,
старший науковий співробітник Сергієнко В.М.,
старший науковий співробітник Прохорець Л.В.
ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

Ультразвуковий метод визначення пружних характеристик гірських порід та штучних матеріалів є одним з базових для оцінки міцності та інших характеристик неруйнівними методами [1, 2]. Досвід застосування серійної ультразвукової апаратури для визначення в лабораторних умовах швидкості пружних хвиль на зразках неправильної форми виявив ряд проблем. При застосуванні збудника та приймача ультразвукових коливань з точковим контактом для порід з великим затуханням ультразвуку отримуємо незадовільне співвідношення рівня шумів до величини сигналу з виходу приймача ультразвуку. У випадку незначного затухання при фіксованій частоті посилання зондуючих імпульсів спостерігається накладання на перший вступ ультразвукового сигналу залишкових коливань, створених попереднім імпульсом. В конструкціях з фіксованою базою контролю при малій швидкості пружних хвиль в матеріалі спостерігається запізнення сигналу, що пройшов через породний зразок, по відношенню до сигналу, що пройшов через жорсткий тримач датчиків. При використанні портативної апаратури з невеликим розміром дисплею та обмеженою роздільною здатністю характерною є низька якість хвильової картини.

Для ліквідації вказаних недоліків на додаток до серійної апаратури розроблено електронну приставку «Hybrid». Структура приставки «Hybrid» та схема її зв'язків з серійною апаратурою представлені на рис. 1.

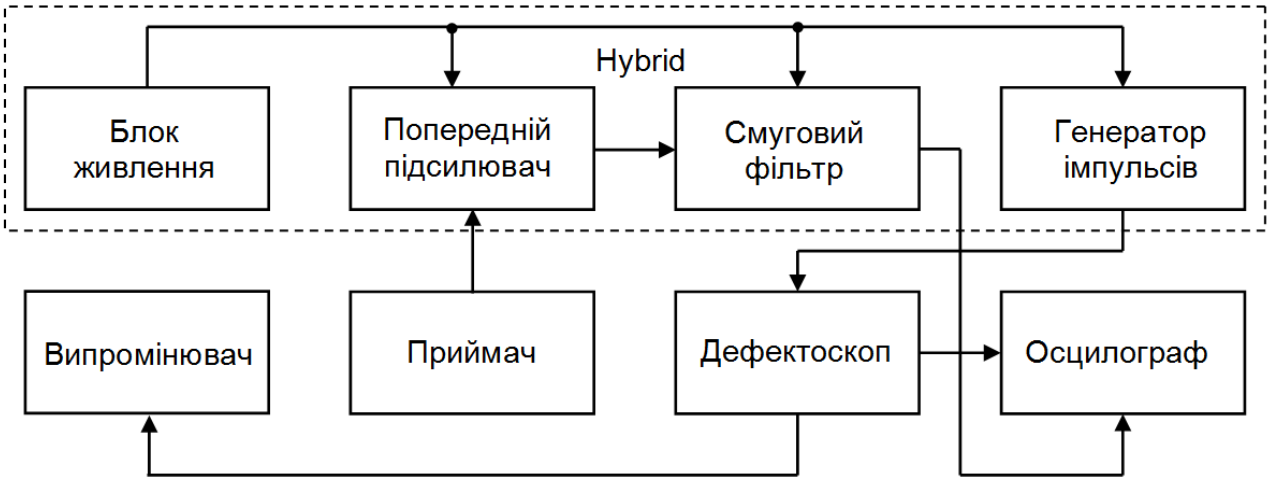


Рис. 1

Живлення приставки, а також дефектоскопа та осцилографа здійснюється від промислової електромережі напругою 230 В. Блок живлення, що входить до складу приставки, забезпечує необхідні значення напруги для всіх інших її функціональних вузлів. Генератор імпульсів з регульованою частотою запускає

цикл роботи дефектоскопа. По передньому фронту тактового імпульсу в схемі дефектоскопа відбувається формування короткого високовольтного зондуючого імпульсу, а також низьковольтного імпульсу затримки прямокутної форми з регулюванням його тривалості. Високовольтний імпульс збуджує ультразвукові коливання в випромінювачі. Після проходження ультразвуку через зразок акустичний сигнал сприймається приймачем і перетворюється в електричний аналог. Він підсилюється попереднім підсилювачем з низьким рівнем власних шумів. Низькодобротний смуговий фільтр, налаштований на основну резонансну частоту приймача, відфільтровує регулярні завади, викликані наводками основної частоти змінного струму 50 Гц і її гармоніками, а також низькочастотні шуми з випадковим спектральним складом. Обмеження смуги пропускання зверху зменшує рівень високочастотних шумів. Подальше підсилення сигналу до необхідного рівня здійснюється підсилювачем в складі осцилографа. Запуск розгортки осцилографа здійснюється по закінченню імпульсу затримки, тривалість якого регулюють так, щоб вона співпадала з реєстрацією приймачем першого вступу поздовжньої чи поперечної хвилі, що пройшла через породний зразок. Тривалість імпульсу затримки фіксують з використанням цифрової шкали дефектоскопа.

Розроблено також спеціальну конструкцію фіксатора ультразвукових датчиків, що мають точковий контакт з породним зразком. Датчики розраховані на поверхневе прозвучування зі змінною базою контролю в діапазоні від 50 до 120 мм. Відповідно, мінімальний розмір зразків не повинен бути меншим 50 мм, а максимальний не обмежується. Корпус фіксатора виготовлений з міцного пластику, що характеризується низькою швидкістю розповсюдження пружних хвиль та високим рівнем затухання. Резонансна частота датчиків становить 55 кГц, що є компромісом між роздільною здатністю ультразвукового контролю та співвідношенням між рівнем сигналу і шумів.

Використання зовнішнього осцилографа та стороннього підсилювача з частотним фільтром дає змогу суттєво покращити якість зображення хвильової картини. Запуск дефектоскопа від зовнішнього генератора з широким діапазоном зміни частоти тактових імпульсів дає змогу добитись чіткого виділення першого вступу при слабкому вхідному сигналі за рахунок повного затухання коливань від проходження попереднього їх пакету. Конструкція фіксатора датчиків дозволяє виконувати ультразвуковий контроль гірських порід та штучних матеріалів з малою швидкістю поширення пружних хвиль. При цьому не ставляться вимоги до максимального розміру породних зразків та їх форми.

Література

1. Методические рекомендации по экспресс-определению упругих и прочностных свойств необработанных образцов горных пород и элементов геокомпозитных конструкций методами неразрушающего контроля: науч.-практ. пособие. / Колл. авторов. – Днепропетровск: Монолит, 2011. – 48 с.

2. Bhave V. Determination of compressive strength of rocks using ultrasound / V. Bhave, O. P. Chimankar, S. J. Dhoble // Proceedings of the conference “Multidimensional role of basis science in advanced technology” 14–15 December 2018 in Nagpur, India. – 2019. – No 020035. - [Електронний ресурс]. URL: https://doi.org/10.1063/1.5100403.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ПОЛІЧАСТОТНОГО СИТА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ

Аспірант Черненко А.Г., зав. відділу Шевченко В.Г.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Удосконалення техніки та технології очищення бурових розчинів від вибуреної породи, збільшення швидкості буріння свердловин та поліпшення якості бурового розчину є важливою науково-прикладною проблемою, що має важливе значення для нафто- та газодобувної галузі [1-3].

Авторами пропонується застосування технології очищення бурових розчинів на вібраційному полічастотному ситі [4-6]. Реалізація полічастотних коливань та збільшення в рази прискорень коливань сит, у порівнянні з типовими віброситами для очистки бурових розчинів, забезпечить підвищення продуктивності та ефективності очищення бурових розчинів на вібраційних полічастотних ситах порівняно з традиційними віброситами з моночастотним збудженням [7, 8]. Це дозволить підняти допустиму швидкість буріння, яка обмежується ступенем очищення бурових розчинів від породних частинок, та сприятиме збільшенню техніко-економічних показників процесу буріння.

Актуальним є завдання вибору параметрів вібраційного полічастотного сита для очищення бурових розчинів.

Для того, щоб здійснити розрахунок ефективних параметрів вібраційного полічастотного сита для очищення бурових розчинів, перш за все, необхідно розробити конструктивну схему та встановити геометричні розміри коробу сита, від яких залежить продуктивність та ефективність його роботи. Конструкція полічастотного сита суттєво не відрізняється від традиційних вібраційних сит, застосовуваних у процесах поділу та зневоднення сипких матеріалів. Тому при розробці конструктивної схеми та встановленні розмірів короба сита необхідно використовувати накопичений досвід та існуючі методи розрахунку вібраційних сит. Основні конструктивні елементи полічастотного сита та їх компонування наведені в [4].

Перший етап розрахунку параметрів вібраційного полічастотного сита полягає у визначенні можливого діапазону їх зміни. Далі з використанням розробленої математичної моделі сита у вибраних діапазонах визначаються робочі значення параметрів сита.

Результати досліджень параметрів пружних зв'язків сита на коливання ударника з ситом показали [5, 6], що при збільшенні сил пружності та дисипативних втрат зменшуються амплітуди та гармоніки субгармонічних та супергармонічних коливань. Збільшення проміжків призводить до збільшення амплітуд коливань і, також, до зменшення гармонік частотного спектра коливань. У межах досліджених діапазонів зміни жорсткості та дисипативні втрати в пружних зв'язках сита не суттєво впливають на коливання сита з сипким середовищем.

При виборі діапазонів зміни параметрів полічастотного сита слід дотримуватись наступних рекомендацій:

- параметри сита та приєднана маса матеріалу на ситі визначаються за геометричними розмірами короба сита, типу просіваючої поверхні, з урахуванням забезпечення необхідної продуктивності процесу;

- ефективне обмеження амплітуд коливань короба досягається при масі ударників, що дорівнює 10–30% наведеної маси короба за відповідною формою коливань, в околиці частот якої виконується зниження інтенсивності коливань;

- при виборі частоти збудження необхідно керуватися тим, що найбільш ефективний вплив на тонкодисперсні середовища здійснюється при високочастотному збудженні, тому частота коливань полічастотного сита повинна бути більше 100 рад/с;

- жорсткість опорних пружних зв'язків визначається за умови зарезонансного режиму коливань сита з відстроюванням частоти збудження від частоти коливань не менше 2,5;

- жорсткості двосторонніх пружних зв'язків ударників визначаються за умови відстроювання власної частоти їх коливань від частоти збудження трохи більше 1,8;

- жорсткості пружних обмежувачів ударників необхідно вибирати не менш ніж на порядок більші жорсткості двосторонніх пружних зв'язків ударників;

- зазори в односторонніх пружних зв'язках вибираються з умови забезпечення необхідного амплітудного і частотного спектра коливань сит і сипучого середовища.

Далі з використанням розробленої математичної моделі сита [4] визначаються робочі параметри сита. Алгоритм визначення робочих параметрів полягає в наступному:

1) по заданій продуктивності та необхідної ефективності процесу очищення бурового розчину здійснюється вибір ефективної площі поверхні, що просіває, типів сит;

2) використовуючи сформульовані вище рекомендації, визначаються значення мас динамічної системи вібросита (короба, ударника з ситом і приєднаною масою сипучого середовища, що просівається), тип віброзбудника коливань, частота і величини збуджуючих зусиль віброзбудника;

3) вибирається тип опорних пружних зв'язків та умови роботи системи в зарезонансній області, визначаються жорсткості і коефіцієнти демпфування опорних зв'язків;

4) вибирається жорсткість двосторонніх пружних зв'язків ударника за умови забезпечення його коливань у зарезонансній області на частотах з відстроюванням не більше 1,8 від власної частоти коливань;

5) за допомогою карт віброударних режимів встановлюються параметри віброударної взаємодії (зазори та жорсткості односторонніх пружних зв'язків, коефіцієнти демпфування) так, щоб режими віброударних коливань знаходилися в області існування як віброударних та і безударних режимів, при цьому параметри віброударної взаємодії встановлюються в межах можливих діапазонів;

6) за допомогою математичної моделі сита шляхом зміни параметрів віброударної взаємодії, наприклад, жорсткості або зазорів пружних обмежувачів визначаються режими коливань, що забезпечують збудження системи «ударник-сито» з приєднаною масою середовища (бурового розчину, що очищається) в режимі віброударних;

7) шляхом зміни в заданих діапазонах обраних параметрів динамічної системи сита за допомогою математичної моделі [4] проводиться перевірка обраної потужності електродвигуна приводу віброзбудника при якій забезпечується вихід сита на віброударні режими коливань;

8) шляхом зміни частоти сили, що примушує, в діапазоні, викликаному, наприклад, ковзанням асинхронного електродвигуна віброзбудника коливань проводиться перевірка стійкості коливань на зміну частоти збудження;

9) у разі нестійкості режимів необхідно повернутися до п.п. 5 та 6;

10) за максимальними розрахунковими значеннями зусиль в елементах конструкції динамічної системи проводиться розрахунок на міцність та уточнюється конструкція вібраційного полічастотного сита для очищення бурових розчинів;

11) після проектування, а також виготовлення з урахуванням можливого коригування вихідних параметрів, провадяться перевірочні розрахунки параметрів системи.

Подальші дослідження варто спрямувати на постановку та вирішення завдання оптимального проектування сита та вибору його раціональних параметрів.

Література

1. Irawan S., Kinif B.I., Bayuaji R. Maximizing Drilling Performance through Enhanced Solid Control System // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - № 267. 012038. DOI:10.1088/1757-899X/267/1/012038.

2. Al-Rubaii M., Al-Shargabi M., Al-Shehri D.A. Novel Model for the Real-Time Evaluation of Hole-Cleaning Conditions with Case Studies // Energies. - 2023. - № 16. 4934. https://doi.org/10.3390/en1613493.

3. Huang J., Wang, L., Li F. Research on Multi-Layer Drilling Mud Reuse Technology // Processes. – 2024. - № 12. 1586. https://doi.org/10.3390/pr12081586.

4. Shevchenko V., Shevchenko H., Chernenko A. Dynamic scheme and mathematical model of a multi-frequency vibrating sieve for drilling mud cleaning // Geo-Technical mechanics. - 2024. - Vol. 172. - Pp. 178-189. DOI: https://doi.org/10.15407/geotm2024.171.178.

5. Shevchenko V., Shevchenko H., Chernenko A. Methodology for analyzing forced vibrations of a multi-frequency vibrating sieve for cleaning drilling mud using the method of computational experiment // Geo-Technical mechanics. – 2025. - Vol. 174. - Pp. 72-87. https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119558.

6. Shevchenko V., Shevchenko H., Chernenko A. Identification of parameters and research of the mathematical model of a vibrating multi-frequency sieve for cleaning drilling mud // Geo-Technical mechanics. – 2025. – Vol. 175. - Pp. 152-168. https://doi.org/10.15407/geotm2025.175.152.

7. Mingkun Zhang, Chengjun Wang, Chen Yan, Hao Li. Design and Dynamic Analysis of a Four-Degree-of-Freedom Chaotic Vibrating Screen // Shock and vibration. - 2021. - № 24. Pp. 1-10. DOI:10.1155/2021/8830428.

8. Deyi H., Chusheng L., Sai L. The Nonlinear Dynamic Behavior of a Particle on a Vibrating Screen Based on the Elastoplastic Contact Model // Separations. - 2022. - № 9. - Pp. 216. https://doi.org/10.3390/separations9080216.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ І ЗАСОБІВ З ПІДТРИМАННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК РУДНИХ ШАХТ

Д.т.н. Скіпочка С.І., к.т.н. Прохорець Л.В., гол. техн. Амелін В.А.
ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України

В ряді робіт, що стосуються кріплення виробок рудних шахт, вказується на можливість відмови від їх кріплення в разі закладення виробки в стійких і вельми стійких породах. А при їх довготривалій експлуатації – застосування лише ізолюючого, огороджувального або комбінованого кріплення. Однак досвід відпрацювання уранових та інших рудних родовищ вказує на те, що навіть виробки, які пройдені у породах з коефіцієнтом стійкості більше одиниці, потребують вибіркового або суцільного кріплення. Це обумовлене, перш за все, «Правилами безпеки…», основним призначенням яких є збереження життя і здоров'я працівників та попередження виникнення аварій.

При виборі типу і параметрів кріплення важливо враховувати геологічні, геомеханічні та гірничо-технічні фактори, які мають вплив на стійкість виробок, а також ступінь їх впливу. Це дає змогу обґрунтовано підходити до вибору технічних заходів і засобів з підтримання гірничих виробок.

Слід зазначити, що кріплення та елементи технологічних схем проведення виробок, що впливають на характер взаємодії порід і кріплення, є засобом управління процесом деформування і руйнування оточуючих виробку порід. Сучасні наукові уявлення, на яких ґрунтується більшість українських технологій підтримання гірничих виробок шахт, побудовані на двох основних принципах. Перший принцип – протидія кріплення руйнуванню вміщуючих порід за рахунок зміни їх видів, паспортів кріплення і умов експлуатації. Другий принцип – залучення до роботи приконтурних порід шляхом поєднання властивостей приконтурного масиву і елементів кріплення або врівноважування стійкості масиву з параметрами гірничих виробок шляхом зміни їх розмірів чи форми задля досягнення максимальної стійкості контурів оголень. Обидва принципи забезпечують зниження витрат на кріплення та підтримання виробок за рахунок оптимізації технологічних параметрів.

В результаті виконаних досліджень та аналізу ресурсозберігаючих способів, технологічних та інноваційних рішень щодо кріплення гірничих виробок у рудних шахтах [1 – 4] рекомендується наступне.

Закладати підготовчі виробки в областях масиву зі зниженим енергетичним станом гірських порід. Завдяки цьому підвищується рівень ресурсозбереження за рахунок скасування процесу кріплення, проведення додаткових (обгінних) виробок замість зруйнованих, виключення аварійних ситуацій, травмування робітників та інших факторів, що підвищують собівартість видобутку.

Робити вибір оптимальної форми площини вибою, що включає надання еліпсоїдних контурів площини забора і перерізу підготовчих виробок. Це дозволить виключити руйнування порід, застосування тимчасового кріплення вибою та використання трудомістких врубів. Для рудних шахт, які використовують камерні системи розробки з відбійкою руди з бурових штреків, пройдених по породі, таке технологічне рішення надає можливість визначення раціональ-

них місць закладення бурових штреків, що знаходяться за межами областей інтенсивного розшарування порід лежачого боку.

Надавати виробці раціональних радіусів заокруглення контурів покрівлі та боків. При цьому досягається максимальне зниження розмірів областей інтенсивного руйнування масиву.

Для підвищення несучої здатності металевого кріплення капітальних виробок використовувати набризкбетонування металевого кріплення і проведення наступного тампонажу закріпного простору, призначеного для забезпечення надійного захисту ділянок кріплень, що підлягають одночасно значним вигинаючим моментам і дії агресивних шахтних вод при атмосферній корозії. Застосування способу дозволить знизити чи практично виключити витрати на ремонт і підтримку виробок за рахунок робіт із захисту кріплення набризкбетоном.

Застосовувати кріплення типу КЦЛ. Воно є найбільш зручним для підтримання сполучень, так як забезпечує стійкість покрівлі при знятті стояка для виконання різних робіт за кріпленням. Конструкція циркульно-лінійного верхняка покращує його зчеплення з породами покрівлі та збільшує відпір кріплення. Кріплення випускається в двох варіантах КЦЛ-Ш (кріплення циркульно-лінійне, шатрове) та КЦЛ-О (кріплення циркульно-лінійне, овоїдне). Кріплення КЦЛ-Ш рекомендовано для виробок з невеликою площею поперечного перерізу, а кріплення КЦЛ-О, відповідно для виробок, площа поперечного перерізу яких перевищує 14 м^2.

Застосовувати гідророзпірні, фрикційні, склопластикові анкери, у яких, порівняно зі сталеполімерним анкером, знижена вага та підвищена стійкість полімерного матеріалу до зовнішнього впливу агресивного середовища.

Застосовувати анкерне стяжне кріплення (АСК) при кріпленні підготовчих виробок. Це забезпечує перехід на менші перерізи спецпрофілю рамного кріплення, зменшення його щільності зведення, зниження обсягу бурових робіт під установку анкерів, скорочення металомісткості охоронної конструкції та трудовитрат, збільшення темпів проведення виробок та підвищення їх стійкості з метою повторного використання за умови скорочення ремонтних робіт.

Література

1. Ляшенко В. И. Повышение геодинамической безопасности подземной разработки сложноструктурных рудных месторождений / В. И. Ляшенко // Бюллетень «Черная металлургия». – 2017. – №3. – С. 24-32.
2. Ресурсозберігаючі способи кріплення гірничих виробок / А. О. Хорольський, Ю. О. Виноградов, А. В. Косенко [та ін.]. – Дніпро: ЛІРА, 2023. – 170 с.
3. Palamarchuk T. A. Analysis of technological developments for the maintenance of ore and uranium mines of Ukraine / T. A. Palamarchuk, L. V. Prokhorets, V. A. Amelin // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. – Д.: ІГТМ НАНУ, 2024. – №168. – С. 35-48.
4. Хоменко О. Е. Безопасная добыча гранитов на марганцеворудных месторождениях Украины / О. Е. Хоменко, М. Н. Кононенко, В. И. Ляшенко // Безопасность труда в промышленности. – 2019. № 1. – С. 53-61.

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЛАЗМОХІМІЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ МЕТАНУ НА ВУГЛЕЦЬ І ВОДЕНЬ

Зав. відділу Шевченко В.Г., ст. наук. співр. Пелих І.В.,
ст. наук. співр. Холявченко Л.Т.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Актуальність та необхідність дослідження. На сучасному етапі розвитку світової енергетики, водень розглядається як ключовий енергоносій, який здатний забезпечити поступовий перехід до екологічно безпечного виробництва та зменшити залежність від викопного палива. Відповідно до «Водневої стратегії України», розвиток технологій виробництва та транспортування водню є пріоритетним напрямком для забезпечення енергетичної незалежності держави та виконання її міжнародних екологічних зобов'язань [1].

В даний час, найбільш поширеними способами одержання водню в промисловості є:

- конверсія метану парами води: $CH_4 + 2H_2O = 4H_2 + CO_2$;
- конверсія оксиду вуглецю: $CO + H_2O = CO_2 + H_2$;
- термічне розкладання метану: $CH_4 = C + 2H_2$;
- електроліз води.

У разі використання вищевказаних способів отримуємо водень чистий, але на жаль дуже дорогий.

Тільки 4 % водню одержують із води за допомогою електролізу. Собівартість виробництва водню з води (різні види електролізу) завдяки високим енерговитратам у 3-6 разів вища, ніж при отриманні водню з природного газу. Для одержання 1 $м^3$ водню методом піролізу метану потрібно всього 0,7-3,3 кВт*год, а електролізу - 2,5-8 кВт*год, тобто майже втричі більше.

Сучасні плазмові технології є найбільш перспективними для глибокої конверсії вуглеводневих палив [2]. Необхідність отримання водню саме плазмохімічним методом зумовлена високою концентрацією енергії в плазмовому розряді, що дозволяє значно інтенсифікувати хімічні реакції порівняно з традиційним спалюванням або паровою конверсією. Використання плазмотронів дозволяє досягати температур, за яких швидкість розкладання метану зростає в десятки разів, що забезпечує компактність обладнання та високу чистоту вихідних продуктів.

В умовах України, яка має потужну газотранспортну систему, впровадження таких установок безпосередньо на вузлах розподілу газу дозволяє створювати локальні центри виробництва водню для потреб промисловості та транспорту.

Матеріали та результати досліджень. Науковцями ІГТМ НАН України розроблена конструкція лабораторного стенду, де основним функціональним елементом є плазмотрон - технічний пристрій, призначений для термічного розкладання водневмісного газу - метану (CH_4).

Запропонований спосіб отримання водню шляхом термічного розкладання (піролізу) метану: $CH_4=C+2H_2$ полягає у нагріванні за допомогою плазмотрону вихідного газу до температури, при якій практично всі молекули метану розкладаються на вуглець та водень. Зокрема в даному випадку водневмісний газ метан не контактує безпосередньо з носієм плазми – іонізованим повітрям.

Технологічна схема лабораторного стенду передбачає подачу метану з балонів через спеціальний редукційний клапан, призначений знижувати тиск до 1-єї атмосфери з ціллю стабілізації сформованого газового потоку.

Подальше нагрівання метану відбувається у реакторі розробленого стенду і здійснюється плазмотроном, здатним генерувати температури в діапазоні від 0 до 5000 °С. Зокрема, для ефективного розриву молекулярних зв'язків, в даному пристрої підтримується температура в діапазоні 1400-1500 °С. Аналогічні дослідження європейських вчених підтверджують, що саме такий температурний діапазон є енергетично оптимальним для максимізації виходу водню при мінімальних витратах електроенергії [3].

Особлива увага в розробленому стенді приділена його електричній системі живлення, відповідно до якої плазмотрон працює на постійному струмі I = 150A і при напрузі U = 500B. Відмінною рисою в зібраному ланцюгу живлення плазмотрону є те, що за змонтованим випрямлячем змінного струму встановлено керований пускач. При цьому важливою умовою стабільності сформованої плазмової дуги є крутопадаюча характеристика джерела живлення, що запобігає виникненню перевантажень та забезпечує стабільність плазмового факела [4]. Запуск плазмотрона в роботу здійснюється високовольтним імпульсом через міжелектродну вставку при стартовому струмі, який складає 30 А, а для точного регулювання технічних параметрів отриманого плазмового розряду задіяно два баластні реостати.

Одним з основних структурних елементів розробленого лабораторного стенду конверсії метану на вуглець та водень є холодильник, який призначений для зниження температури газової суміші, яка утворюється, при цьому твердий вуглець (С) осідає на стінки холодильника, а водень (H_2) поступає у відповідну ємність для зберігання та подальшого його використання.

Основний складовий елемент реактора розробленого стенду - циліндрична оболонка заповнена інертним газом або вакуумом, до якої подається метан. При плазмовому нагріванні внутрішнього циліндру та передачі тепла в міжциліндровий простір метан розділяється на вуглець (С) і водень (H_2). Реактор обладнано чотирма точками заміру температури, що необхідно для контролю термічного градієнта та запобігання перегріву його стінок. Охолодження складових елементів плазмотрона - анода, катода та міжелектродної вставки здійснюється технічною водою, яка подається під тиском 2 атм. Також в процесі роботи плазмотрона, повітря під тиском до 8 атм постійно подається компресором і виступає в якості носія плазми.

Як показує практика проектування електротехнічних систем плазмових установок, надійна система охолодження є ключовим фактором безперебійної роботи електродів у агресивних середовищах [5].

Висновки.

1. Плазмохімічне розділення метану забезпечує високу ефективність отримання водню завдяки надвисоким температурам, що недоступно для класичних термічних методів.
2. Розроблена система електричного живлення з баластними реостатами дозволяє плавно регулювати потужність плазмотрона, забезпечуючи стабільну реакцію конверсії.
3. Основний складовий елемент реактора стенду - циліндрична оболонка, в міжциліндровому просторі якої, при плазмовому нагріванні внутрішнього циліндру, метан розділяється на вуглець і водень.
4. Впровадження подібних установок в енергосистему України сприятиме реалізації розробленої державної водневої стратегії та підвищенню її енергетичної безпеки.

Література

1. Воднева стратегія України на період до 2050 року: Схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9.12.2024 р. № 1134-р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text.
2. Жовтянський В.А. Плазмові технології для конверсії вуглеводневих палив // Енерготехнології та ресурсозбереження. – 2021. – № 4. – С. 22–31.
3. Daoutidis P., Lee M. Methane pyrolysis and conversion for hydrogen production: A review // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 385. – 135700.
4. Fulcheri L., Rohani V.J. Plasma pyrolysis of methane: Process and modeling // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, Issue 15. – P. 9110–9124.
5. Поляков О.П., Жданюк В.К. Електротехнічні системи плазмових установок: навчальний посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.

СВЕРДЛОВИННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ, ЩО ПІДРОБЛЮЮТЬСЯ

Провідний науковий співробітник Курносов С.А.,
старші наукові співробітники Макеєв С.Ю., Пилипенко Ю.М.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

При розробці вугільних пластів, на ділянках з високою метановістю і переважаючим газовиділенням зі зближених підроблюваних пластів, застосовують схему підземного супутнього видобутку метану газовидобувними свердловинами з підготовчих виробок з ізольованим відведенням метану по газопроводу [1]. Ефективним способом підвищення газовиділення є гідроімпульсна обробка вугільного пласта. При цьому важливо визначити місце обробки по довжині свердловини (місце розташування пласта). Це можливо здійснювати методами електричного каротажу по опору [2].

Для вирішення цього завдання в ІГТМ НАН України розроблено свердловинний пристрій (рис. 1), який включає наконечник із композитного ізоляційного матеріалу та споряджений мікрозондом бічного електричного каротажу, який виконаний у вигляді двох симетрично розташованих башмаків, кожен з яких обладнаний трьома еквідистантними вимірювальними електродами, які притискуються ресорною пружиною з можливістю постійного контакту зі стінкою свердловини різної конфігурації, що сприяє інтенсифікації процесу газовиділення шляхом визначення межі зони обробки гідрореагентом газоносного пласта та місця розташування герметизатора.

Пристрій застосовують наступним чином. В пробуреній свердловині 15 розміщують пристрій з наконечником 1, розташованим на перехідній втулці 2 та за допомогою штанги 18 і бурового обладнання (на креслені не показано) переміщують в зону газоносного вугільного пласта 17. При цьому наконечник 1 оснащений мікрозондом 3 бічного електричного каротажу, виконаним у вигляді двох симетрично розташованих башмаків 4, кожен з яких обладнаний трьома еквідистантними вимірювальними електродами 5, які притискуються ресорною пружиною 6 з можливістю постійного контакту зі стінкою свердловини 15 різної конфігурації, при цьому один кінець 7 ресорної пружини 6 жорстко закріплений на наконечнику 1, а другий 8 – охоплений кільцевим хомутом 9 з можливістю переміщення кінця ресорної пружини 6 вздовж наконечника 1. При цьому вимірювальні електроди 5 мікрозонду 3 отримують живлення по кабелю 12, який проходить по внутрішньому каналу 11 адаптера 10.

По мірі переміщення пристрою, виконують декілька вимірів умовного електричного опору гірського масиву навколо свердловини 15 по всій її довжині для визначення зони обробки вугільного пласта та місць розташування герметизаторів шлангового типу 13 і 21. Точки *а* і *б* на стінках свердловини 15 указують визначений інтервал розташування вугільного пласта 17, який підлягає обробці гідрореагентом. Після визначення меж зони обробки пласта (*а* і *б*), в ній розміщують адаптер 10 за допомогою бурової штанги 18 та фіксують його в свердловині 15 за допомогою герметизатора 21, який установлений на зовнішній стороні втулки 19.

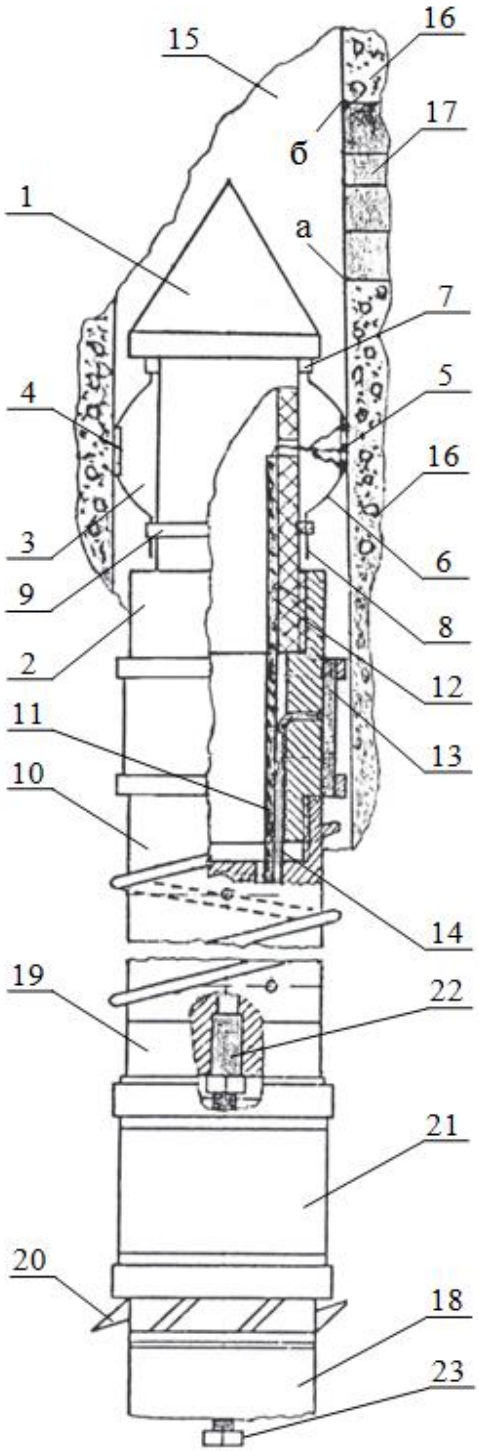


Рис. 1

Під дією робочої рідини герметизатор 21 притискується до стінок свердловини 15, що обмежує зону обробки вугільного пласта 17 по довжині свердловини 15 в її нижній частині *а*. Після цього подають робочу рідину по шлангу 14 у внутрішню частину додаткового герметизатора 13 шлангового типу, який перекриває верхню межу *б* зони обробки пласта та забезпечує захист мікрозонду 3 від гідрореагенту, зберігаючи його працездатність. Потім в свердловину 15 подають гідрореагент по шлангам 23 для імпульсно-кумулятивної обробки шарів вугільного пласта пристроєм 22. Процес обробки здійснюється в декілька циклів, після кожного з яких скидають тиск робочої рідини тільки в герметизаторі 22 для випуску шламу, а по завершенню процесу обробки, скидають тиск робочої рідини в герметизаторі 22 і в додатковому герметизаторі 13 та вилучають пристрій із свердловини 15, для чого включають бурове обладнання на зворотну проробку свердловини 15 обоймою з різцями 20, що дозволяє при зворотному ході інструменту відновлювати свердловину 15 в місцях її звуження.

Таким чином, використання розробленого свердловинного пристрою дозволить обмежити зону обробки зближеного підроблюваного газоносного вугільного пласта, що сприятиме інтенсифікації процесу газовиділення та підвищенню ефективності супутнього видобутку метану.

Література

1. Kurnosov S.https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57209973146 About trends of improvement of technological schemes for methane recovery from the rock-coal massif / S. Kurnosov, V. Zerkal. – E3S Web of Conferences, 2019 109, 00046.
2. Пилипенко Ю.Н. Дегазация угольных пластов в зонах тектонических нарушений / Ю.Н. Пилипенко. – Геолог України, 2011. – № 2. – С. 69-73.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБУХУ В ІДЕАЛЬНОМУ ГАЗІ ПОБЛИЗУ ТВЕРДОЇ ПОВЕРХНІ

Студент Круковський Д.О.
НТУ «Дніпровська політехніка»

У попередніх роботах автором була розроблена математична модель вибуху в газовому середовищі на основі рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії для ідеального газу, чисельна реалізація якої методом скінченних елементів дозволила відтворити просторово-часову еволюцію основних параметрів вибухового процесу та характерні риси поширення ударних хвиль. Водночас проведений аналіз виявив обмеженість такої постановки для інженерних задач, пов'язаних із наявністю твердих перешкод і складної геометрії, де суттєву роль відіграє механічна взаємодія газу з твердими поверхнями та ефекти відбиття ударних хвиль. У зв'язку з цим подальший розвиток моделі спрямовано на урахування взаємодії газового середовища з твердими тілами та дослідження вибухових процесів поблизу жорстких меж.

В даній роботі розроблено математичну модель вибуху в стисливому ідеальному газі поблизу твердої поверхні з урахуванням відбиття ударної хвилі та взаємодії газу з твердим тілом. Задача сформульована у рамках зв'язаної постановки взаємодії «газ–тверде тіло», що дозволяє узгоджено описувати динаміку газового середовища та реакцію твердої межі під дією вибухового навантаження. Газова фаза описується двовимірними рівняннями Ейлера в консервативній формі з рівнянням стану ідеального газу. Вибух моделюється як локальний енергетичний імпульс, заданий у вигляді початкового підвищення тиску з гауссовим просторовим розподілом. Такий підхід дозволяє коректно відтворювати формування та поширення ударної хвилі без явного моделювання хімічних реакцій. Тверде тіло описується рівняннями динаміки лінійної пружності у плоскій постановці з використанням закону Гука та параметрів Ламе. Взаємодія газу з твердою поверхнею реалізується через кінематичні умови непроникності та динамічні умови балансу напружень, відповідно до яких тиск газу формує поверхневе навантаження на тверде тіло. Чисельна реалізація газової частини базується на методі скінченних елементів у розривній постановці Галеркіна з використанням чисельного потоку Русанова, що забезпечує стабільність розрахунків за наявності сильних розривів. Для твердої фази застосовується стандартна слабка форма МКЕ. Запропоновано роздільний алгоритм розв'язання зв'язаної задачі з послідовним обміном граничними даними між газом і твердим тілом на кожному часовому кроці.

Запропонована модель є універсальною основою для чисельного дослідження вибухових навантажень на тверді поверхні та може бути використана при аналізі ударно-хвильових процесів у задачах промислової безпеки, підземного будівництва та вибухомеханіки.

References.

1. Krukovskyi D.O. (2025) Two-dimensional blast-wave simulation in an ideal gas via FEM. Математичні проблеми технічної механіки – 2025. Матеріали Міжнародної наукової конференції. Дніпро: ДНУ, частина 2, 36-37.
2. Sdvyzhkova O., Krukovskyi D., Nazarenko K. (2026) Finite element modeling of a two-dimensional explosion in an ideal gas. *Advances in Science and Technology*, (172), 113-121. https://doi.org/10.4028/p-qL8ZNx

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ У ВИБОЇ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ПОРОЖНИНИ

Докт. техн. наук Круковська В.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Розвантажувальні порожнини у вміщуючих породах утворюються для запобігання викидам вугілля і газу при проведенні підготовчих виробок змішаними вибоями по викидонебезпечних вугільних пластах. Для дослідження закономірностей формування напруженого стану вуглепородного масиву за наявності розвантажувальної порожнини виконано чисельне моделювання з урахуванням газу в поровому просторі вугілля при пластовому тиску 8 МПа.

Задача пружно-пластичного деформування масиву розв'язувалась методом скінчених елементів. Досліджено зміну поля напружень у вибої гірничої виробки висотою 3 м з розвантажувальною порожниною глибиною 2 м, що проводиться по вугільному пласту на глибині 1200 м. Аналіз виконано за безрозмірними геомеханічними параметрами:

$R^*=\sigma_1/\gamma H$ – показник концентрації напружень;
$Q^*=(\sigma_1-\sigma_3)/\gamma H$ – показник анізотропії напружень;
$P^*=\sigma_1/\gamma H$ – відносний рівень обмежувального тиску, що діє на породу,

де σ_1, σ_3 – максимальна і мінімальна компоненти тензора головних напружень, Па; γ – усереднена вага розташованих вище порід, Н/м^3; H – глибина розробки, м.

На рис. 1-3 показано результати розрахунків.

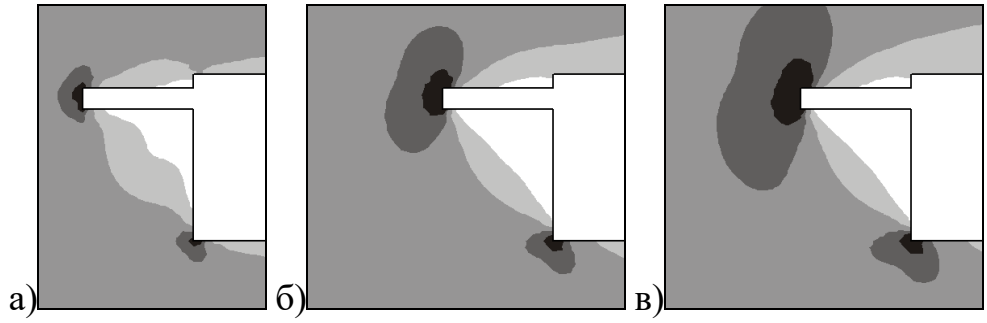


Рис. 1. Параметр R^*: а) t = 5 годин; б) t = 25 годин; в) t = 50 годин

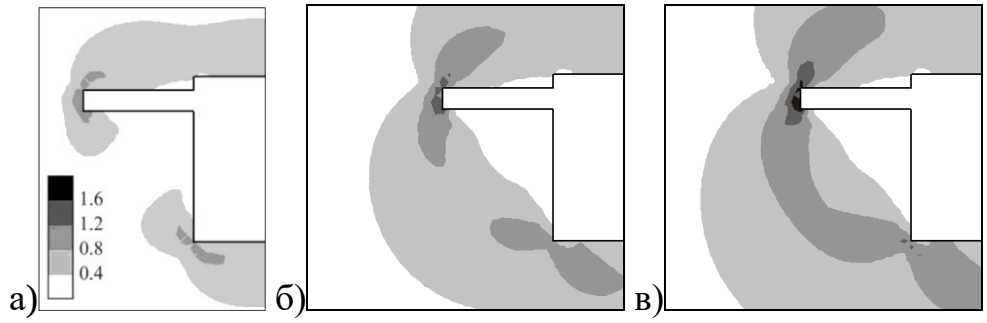


Рис. 2. Параметр Q^*: а) t = 5 годин; б) t = 25 годин; в) t = 50 годин

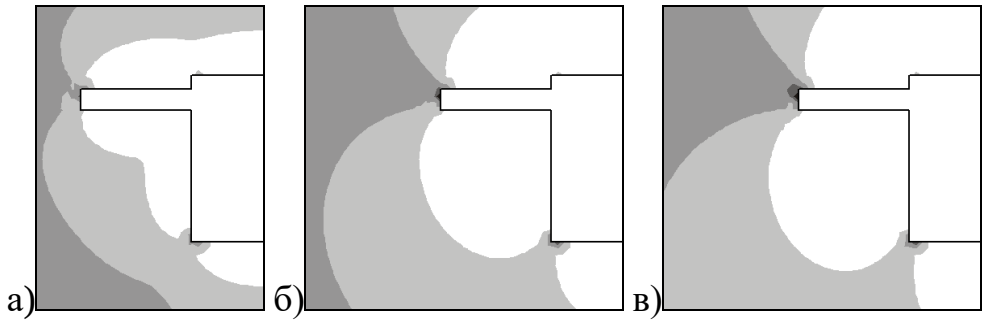


Рис. 3. Параметр P^*: а) t = 5 годин; б) t = 25 годин; в) t = 50 годин

Розподіл значень зведеної максимальної компоненти тензора головних напружень виявляє велику зону, розташовану під розвантажувальною порожниною, де $R^* < 0{,}4$ (рис. 1). Довжина цієї зони дорівнює довжині розвантажувальної порожнини. Саме в межах двохметрової привибійної зони зазвичай знаходиться максимум опорного тиску, де $R^* > 1{,}0$ (рис. 4а). За наявності розвантажувальної порожнини зона опорного тиску переміщується із вибою виробки у вибій розвантажувальної порожнини (рис. 1, 4а).

Поширення зони підвищеної анізотропії поля напружень (рис. 2), де активно відбувається процес тріщиноутворення, вглиб вугільного пласта уповільнюється порівняно з виробкою без розвантажувальної порожнини (рис. 4б). Пікові значення параметру Q^* (Q^*>0,8) відсувається від вибою виробки на 2 м (рис. 2в).

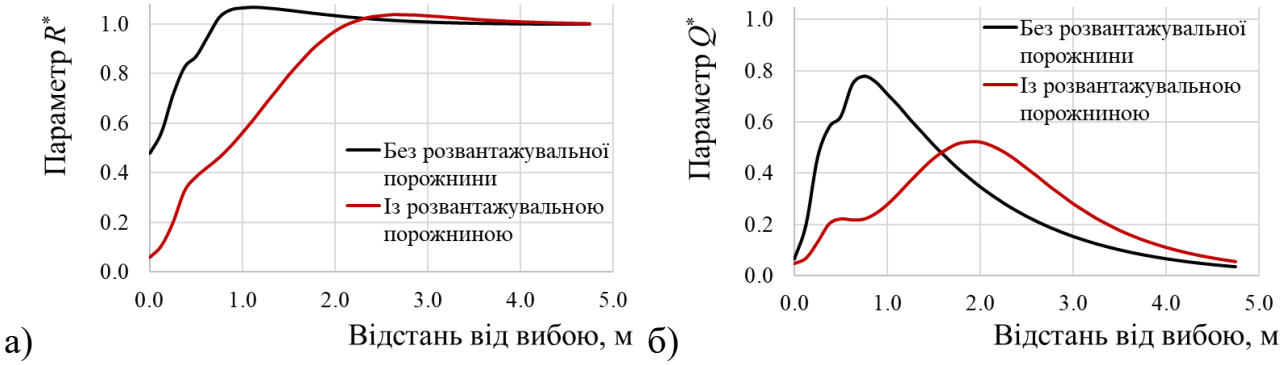


Рис. 4. Графіки зміни а) параметру R^* і б) параметру Q^* при застосуванні розвантажувальної порожнини і без неї

Вугільний пласт у вибої виробки, під розвантажувальною порожниною, розвантажений від гірського тиску – значення обмежувального тиску тут низькі $P^* < 0{,}4$ (рис. 3), що свідчить про ефективне розвантаження привибійної зони.

Висновки. Застосування розвантажувальної порожнини у вибої гірничої виробки призводить до формування повністю розвантаженої від гірського тиску зони під нею. Наявність порожнини забезпечує зміщення максимуму опорного тиску від вибою виробки у вибій розвантажувальної порожнини. Процес тріщиноутворення у вугільному пласті суттєво уповільнюється, а зона підвищеної анізотропії напружень відсувається вглиб пласта. Отримані результати підтверджують ефективність розвантажувальних порожнин як засобу зниження ризику розвитку газодинамічних явищ при проведенні підготовчих виробок.

СПОСІБ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАХИСНИХ ПЕРЕМИЧОК

Член.-кор. НАН України, докт. техн. наук Круковський О.П.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
доктор технічних наук, професор Заболотний К.С., аспірант Бурков А.О.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Сучасні умови ведення гірничих робіт характеризуються збільшенням протяжності виробок (400 м і більше), ускладненням гірничо-геологічних умов та перетином зон геологічних порушень. Практика експлуатації анкерно-породних конструкцій показує, що навіть при застосуванні силових, підпірних та опірних елементів виникає накопичення енергії пружних деформацій у приконтурному масиві.

Вивільнення цієї енергії спричиняє: руйнування покрівлі, розшарування порід, втрату несучої здатності анкерно-породної системи, необхідність ремонту виробки.

Класичні підходи до анкерного кріплення базуються на концепції армування вже частково розвантаженого масиву. Проте не враховується можливість локалізованого збереження нерозвантажених ділянок порід уздовж виробки.

Таким чином, науково-технічною задачею є: підвищення довготривалої стійкості протяжних гірничих виробок шляхом просторової організації анкерного кріплення, що забезпечує перерозподіл напружень та блокування розвитку непружних деформацій.

Аналіз запропонованого технічного рішення

В основі технічної пропозиції лежить принцип періодичного формування по довжині виробки елементів підвищеної жорсткості – захисних перемичок, що інтегруються в анкерно-породну конструкцію.

Концептуальна новизна

Традиційна анкерно-породна конструкція складається з: силового елемента (покрівля), підпірного елемента, опори, основи конструкції.

Запропоновано періодично формувати додаткові ділянки з підвищеною анкерною насиченістю, що створюють: зони підвищеної просторової жорсткості, бар’єри для розвитку розшарування, осередки збереження природної монолітності масиву.

Принцип роботи захисної перемички

Залежно від схеми основного кріплення застосовуються два варіанти:

1) При простій схемі основного кріплення.

Перемички формуються додатковими анкерами з нахилом на вибій.

Ефект: підвищення взаємодії між рядами анкерів; формування ділянок нерозвантаженого масиву; зменшення швидкості ослаблення покрівельного перекриття.

2) При посиленій схемі основного кріплення.

Перемички формуються анкерами з нахилом у протилежному напрямку.

Ефект: просторове «замикання» анкерної системи; об'єднання локальних жорстких ділянок в єдину стабілізуючу область; припинення прогресуючого ослаблення перекриття.

Запропонована схема фактично реалізує: переривчасте формування жорсткісних діафрагм; перерозподіл поздовжніх напружень; локалізацію зон концентрації енергії пружних деформацій.

З позицій механіки суцільного середовища: між перемичками формується контрольована зона деформацій; самі перемички працюють як поперечні просторові ребра жорсткості; накопичена енергія частково розсіюється за рахунок просторового перерозподілу.

Іншими словами, виробка перестає бути «довгою балкою» в геомеханічному сенсі й перетворюється на систему секційованих ділянок з підвищеною стабільністю.

Переваги технічного рішення:

1. Забезпечується безремонтна експлуатація протяжних виробок.
2. Підвищується стійкість при перетині зон геологічних порушень.
3. Зменшується ризик раптових руйнувань.

Підвищується ефективність використання анкерного кріплення без радикального збільшення матеріаломісткості.

Запропоноване рішення не потребує принципово нового обладнання – лише модифікації схеми розташування анкерів.

Метод особливо доцільний для: магістральних виробок великої протяжності; підготовчих виробок з тривалим строком служби; ділянок з тектонічними порушеннями; виробок в умовах підвищеного гірського тиску.

Висновки

Запропоновано спосіб просторової оптимізації анкерного кріплення шляхом періодичного формування захисних перемичок.

Технічне рішення дозволяє локалізувати накопичення енергії пружних деформацій у протяжних виробках.

Забезпечується підвищення довговічності анкерно-породної конструкції без суттєвого ускладнення технології монтажу.

Рекомендації щодо подальших досліджень

Виконати чисельне моделювання (FEM) анкерно-породної конструкції з перемичками для оцінки перерозподілу напружень.

Розробити критерії визначення оптимального кроку L між перемичками залежно від глибини та міцності порід.

Впровадити систему моніторингу деформацій з використанням тензометричних анкерів.

Створити методику проектування з урахуванням енергетичного підходу до оцінки стійкості масиву.

Розглянута корисна модель є не просто конструктивною модифікацією анкерного кріплення, а концептуальним кроком до просторово-енергетичного управління стійкістю протяжних гірничих виробок.

Література

1. Булат А. Ф., Виноградов В. В. Механика подземных сооружений. – Київ: Наукова думка, 2005.
2. Бондаренко В. І., Ковалевська І. А., Симаневич Г. А. Механіка гірських порід та масивів. – Дніпро: НГУ, 2012.
3. АС СРСР № 1559185, МПК E21D 20/00. Спосіб анкерного кріплення гірничих виробок. – 1990.

РИЗИКОУТВОРЮЮЧІ ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ЛАНКАХ ШАХТНИХ БАГАТОКАНАТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

Ільїн С.Р., Адорська Л.Г., канд. техн. наук, с. н. с.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
Ільїна І.С., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

У ланках багатоканатних шахтних підйомних установок (БК ШПУ) при їх роботі з великих глибин видобутку корисних копалин і з високими швидкостями руху підйомних посудин встановлено наступні ризикоутворюючі процеси та їх поєднання [1]:

1) розбаланс радіусів провідних жолобів шківа тертя плюс одночасне зміщення центру мас вантажу в посудині від вертикальної осі (два процеси);

2) розбаланс початкових довжин у пакеті головних канатів при навішуванні плюс одночасне зміщення центру мас вантажу в посудині від вертикальної осі (два процеси);

3) розбаланс радіусів провідних жолобів шківа тертя плюс одночасний розбаланс початкових довжин у пакеті головних канатів при навішуванні (два процеси);

4) місцеві підвищені викривлення провідників плюс одночасне підвищене зношування провідників армування (два процеси);

5) місцеві підвищені викривлення провідників плюс одночасне підвищене зношування розпорів армування (два процеси);

6) місцеві підвищені відхилення провідників від вертикалі плюс одночасне підвищене зношування вертикальних полиць двотаврових розпорів поблизу місць закладення розпорів у кріплення стовбура (два процеси);

7) включення запобіжного гальма плюс попадання посудини на ділянку з підвищеним зносом провідників та розпорів армування (два процеси);

8) включення запобіжного гальма плюс попадання посудини на ділянці гальмування в критичну зону, в якій частоти вертикальних та поворотних коливань посудини знаходяться у співвідношенні, що відповідає першій зоні нестійкості при параметричному збудженні;

9) підвищений знос провідників та розпорів зі зниженням жорсткості армування плюс перехід системи «посудина – армування» в першу зону параметричної нестійкості при параметричному збудженні через дискретне розташування розпорів армування по глибині стовбура (два процеси);

10) періодичний вихід роликів типу НКП гумовими котками за межі лобової та/або бічної поверхонь провідників плюс перехід системи «посудина – армування» в першу зону параметричної нестійкості при параметричному збудженні за частотами коливань у лобовій та бічній площинах (два процеси);

11) розбаланс радіусів провідних жолобів шківа тертя плюс одночасний розбаланс початкових довжин у пакеті головних канатів при навішуванні плюс одночасне зміщення центру мас вантажу в посудині від її вертикальної осі в лобовій та бічній площинах провідників (три – чотири процеси);

12) розбаланс радіусів провідних жолобів шківа тертя плюс одночасний розбаланс початкових довжин у пакеті головних канатів при навішуванні плюс одночасне зміщення центру мас вантажу в посудині від її вертикальної осі в лобовій та бічній площинах провідників плюс протиаварійне включення запобіжного гальма (чотири процеси).

Аналіз ризикоутворюючих процесів, що виникають у ланках БК ШПУ під час роботи з великих глибин, дозволив виділити сукупності факторів, що призводять до потенційно небезпечних режимів функціонування обладнання. Встановлено, що найбільшу загрозу стабільності та безпечній експлуатації БК ШПУ становлять не окремі відхилення, а їх одночасний прояв, що посилює параметричну нестійкість системи та збільшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Найбільш критичними є поєднання наступних факторів:

- розбаланс геометричних параметрів канатно-блокової системи (включаючи радіуси жолобів та початкові довжини канатів);
- зміщення центру мас вантажу в посудині;
- знос та деформації елементів армування (провідників, розпорів);
- включення запобіжного гальма в умовах поєднання несприятливих факторів;
- входження системи «посудина – армування» до зони параметричної нестійкості.

Особливо небезпечними визнані випадки одночасної дії трьох і більше процесів, при яких система може перейти в режим резонансних або параметрично нестійких коливань у лобовій та бічній площинах, що різко знижує рівень надійності та керованості підйомного комплексу.

Результати дослідження динамічних процесів у ланках БК ШПУ при роботі з великих глибин мають важливе практичне значення для формування ефективних підходів до забезпечення їх експлуатаційної безпеки та надійності. Вони можуть бути основою для побудови моделей прогнозування аварійних ситуацій та оптимізації програм технічного обслуговування і модернізації шахтних підйомних комплексів в умовах видобутку з великих глибин.

Виявлені ризикоутворюючі поєднання процесів у ланках БК ШПУ доцільно використовувати як базу для розробки методик оцінки залишкового ресурсу, моніторингу технічного стану та систем попереджувальної діагностики БК ШПУ. Їх інтеграція в цифрові моделі техніко-експлуатаційного стану дозволить підвищити ефективність управління ризиками та перейти від регламентного обслуговування до адаптивної системи технічного супроводу, орієнтованої на фактичний стан підйомного обладнання.

Проведені дослідження закладають основу для формування ефективних підходів до забезпечення експлуатаційної безпеки, надійності та продуктивності систем шахтного підйому у складних умовах видобутку.

Література

1. Ilin, S. Risk-forming dynamic processes in the components of mine multi-rope hoisting installations operating from great depths // S. Ilin, L. Adorska, I. Ilina/ Geo-Technical Mechanics. Collection of scientific papers/ IGTM NAS of Ukraine. – Dnipro, 2025. - Issue 175. – P. 54 – 67.

КОРОЗІЯ БЕТОННОГО КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПІД ВПЛИВОМ АГРЕСИВНИХ ШАХТНИХ ВОД

Науковий співробітник Виноградов Ю.О.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Агресивні шахтні води є одним з основних чинників довгострокового руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій у гірничих виробках, оскільки містять розчинені солі та хімічно активні сполуки, що спричиняють деградацію цементного каменю та зниження несучої здатності кріплення [1]. Упродовж експлуатації бетонне кріплення зазнає одночасної дії гірського тиску, фільтраційних потоків води та температурних коливань, що призводить до поступового погіршення його фізико-механічних властивостей. Додатковим негативним чинником є корозія металевої арматури, об'ємне розширення якої викликає розтріскування та відшарування захисного шару бетону [2].

Для аналізу та прогнозування корозійного руйнування бетонного кріплення доцільно застосовувати методи математичного та чисельного моделювання. У роботі розвивається модель фільтраційної взаємодії гірничої виробки з обводненими породними пластами з урахуванням напруженого стану вміщуючого масиву. Побудова скінченно-елементної моделі виробки аркового перерізу з водонасиченим пластом у покрівлі дозволяє оцінити зміну напружено-деформованого стану та втрату міцності бетонного кріплення впродовж тривалої експлуатації в агресивному середовищі.

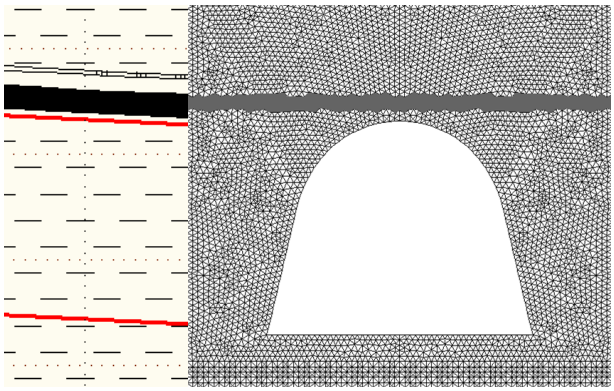


Рисунок 1. Центральний фрагмент скінченно-елементної сітки. Водонасичений вугільний прошарок над виробкою

Результати дослідження можуть бути використані для обґрунтованого вибору типу та параметрів бетонного кріплення, прогнозування термінів його працездатності та оптимізації витрат на утримання гірничих виробок.

Література

1. Круковський О.П., Круковська В.В., Виноградов Ю.О. (2024). Дослідження процесу корозійного руйнування металевого кріплення гірничих виробок / Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва, вип26, стр. 56-64.
2. Виноградов Ю.А. (2018). Влияние водопрочности вмещающих пород на устойчивость выработки с рамной и анкерной крепью / Физико-технические проблемы горного производства, Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Днепр, вип20, стр. 56-64.

FEATURES OF DESIGN AND CALCULATION OF VERTICAL HYDRAULIC CLASSIFIERS

D.Sc., Professor Andrii Bondarenko
Dnipro University of Technology

Vertical classifiers are specialized equipment designed to separate granular materials into fractions based on particle size, shape, or density in an upward flow of carrier liquid. Vertical classifiers are most often used in the mining and processing industry. They are used for ore enrichment and purification of non-metallic minerals. Separation of valuable rock from waste rock in vertical classifiers is carried out due to the difference in specific gravity. Such classifiers are also valuable in removing too fine (dusty) particles or clay impurities from quartz sands. The advantages of vertical classifiers are compactness, classification accuracy, and cost-effectiveness: such classifiers take up less space compared to horizontal counterparts, allow for a narrow range of particle sizes, require less energy to transport material because the upward flow carries smaller particles upward.

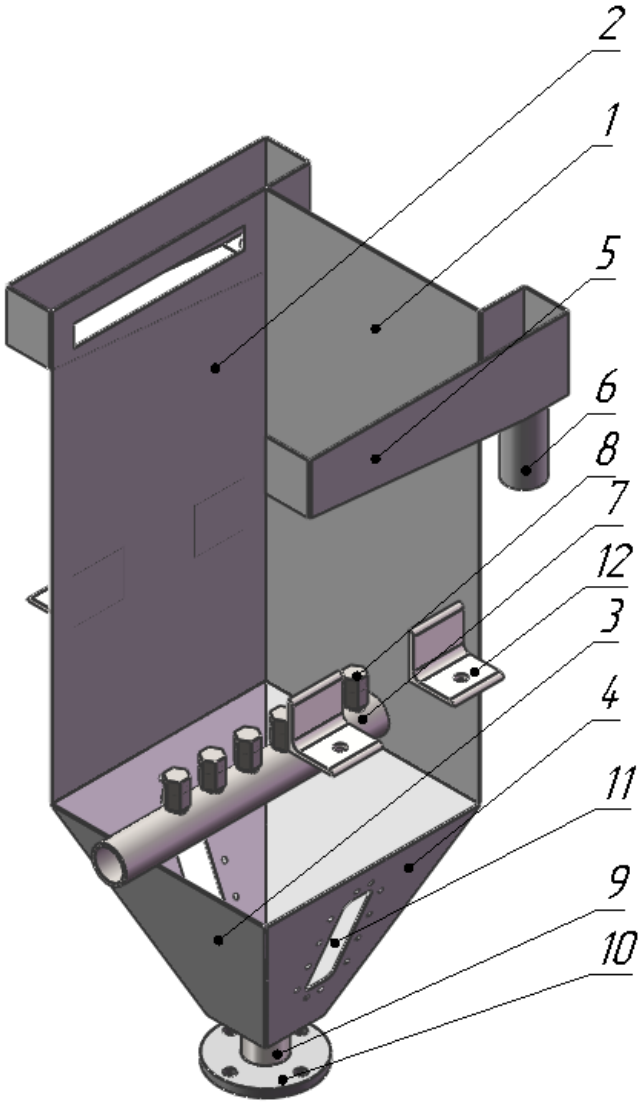


Fig. Design of the vertical classifier:
1 – sidewall; 2 – drain wall; 3 – sidewall of the sand hopper; 4 – inspection side of the sand hopper; 5 – sludge drain tray; 6 – sludge drain pipe; 7 – spraying system; 8 – spray nozzle; 9 – sand pipe; 10 – sand pipe flange; 11 – sand hopper inspection window; 12 – support bracket.

In the practice of classifying granular materials, such as construction sand, hydraulic or hydrodynamic classifiers that wash solid particles under the action of jet streams of water have become widely used (Fig.). These types of devices show high classification efficiency, simplicity of design, operation, repair and maintenance at minimal costs, which determines the prospects for their application.

The hydraulic vertical classifier (Fig.) consists of: sidewall 1 and the drain wall 2, forming the body of the vertical classifier using welded seams; sidewall of the sand hopper 3 and

the inspection side of the sand hopper 4 form a sand hopper using welded seams; sludge drain tray 5 designed for draining sludge from the vertical classifier; sludge drain pipe 6; spraying system 7; spray nozzle 8; sand pipe 9; sand pipe flange 10; sand hopper inspection window 11; support bracket 12.

The spraying system 7 is used to supply water to the vertical classifier and thus form a counterflow of slurry, which washes out dusty, clayey, finely dispersed, muddy parts from mineral granular raw materials.

The spray nozzles 8 form a counterflow of water in the internal cavity of the vertical classifier. The sand pipe 9 is installed in the lower part of the sand hopper; it is intended for transporting mineral granular raw materials cleaned of dusty, clayey, finely dispersed, and muddy parts to the next stages of processing or enrichment of raw materials. The sand pipe flange 10 is used to install the pump under the sand hopper of the vertical classifier. The sand hopper inspection window 11 is designed to allow observations of the behavior of mineral granular raw materials in the sand hopper. Support bracket 12 is used when installing and securing the vertical classifier on the support frame.

The flow diameter of the vertical classifier is its main design parameter, which should be calculated taking into account the slurry productivity and the hydraulic particle size with the limiting size according to the formula

$$D_{вк} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{пр}}{\pi \cdot \omega}}, \text{ m},$$

where $Q_{пр}$ – water consumption for sand washing, m³/sec; ω – hydraulic particle size with a limiting size, m/sec.

The design parameters of the vertical classifier are taken taking into account the value of the flow diameter. Determine: the width of the flow part and the upper section of the sand hopper $b_в$ m, length of the flow part and the upper section of the sand hopper $l_в$ m, width of the bottom section of the sand hopper $b_н$ m, length of the bottom section of the sand hopper $l_н$ m.

The height of the flow part of the vertical classifier can be determined by the formula $h_п = 2b_в$, m.

References

1. Bondarenko A.O., Shustov O.O., Adamchuk A.A. (2023). Studying the interaction process of a solid particles flow with the hydraulic classifier flowing part. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1254 (1), 012047. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012047.

2. Bondarenko A.O., Shustov O.O., Pavlychenko, A.V., Adamchuk A.A. (2023). Substantiation of technological resource-saving conditions for the use of equipment in the sand deposit mining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1269(1), 012024. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1269/1/012024.

ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАСКЛАДОВАНИХ ВІДХОДІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩ

Провідний інженер Мінко О.Ю.,
молодший науковий співробітник Рябко А.І.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Аналіз процесів, які відбуваються після завершення експлуатації гірничих підприємств та припинення експлуатації хвостосховища показав наступне. На вказаному об'єкті відбуваються різноманітні зміни. Насамперед це стосується такого важливого інтегрального параметра як вологість заскладованих хвостів. Складові параметра (токсичність, пористість, щільність та інші) відображають в комплексі зміну властивостей та характеристик заскладованих відходів. Вказані суттєві зміни впливають як позитивно, так і негативно на екологічну ситуацію та стан гідроспоруд, а саме: на дальність розповсюдження і просторовий розподіл забруднюючих речовин, на стійкість гідроспоруд**.**

При припиненні подачі хвостів у хвостосховище *їх вологість* поступово знижуватиметься через випаровування, дренаж та природне зневоднення, але процес буде повільним, а вологість залишиться високою через наявність води в пульпі. Залежно від типу хвостосховища, це може супроводжуватися додатковими процесами, такими як ущільнення матеріалу та утворення кірок на поверхні.

Фактори, що впливають на швидкість зміни вологості: кліматичні умови, такі як: температура, вітер та опади впливають на швидкість випаровування; фізико-хімічний склад хвостів: різний розмір частинок та хімічний склад хвостів можуть впливати на здатність утримувати воду та швидкість її видалення; геометрія хвостосховища: форма та обсяг хвостосховища впливають на розподілення води всередині та швидкість її видалення; тип хвостосховища: наливні хвостосховища мають природні відмінності у швидкості висихання між різними фракціями хвостів, які можуть бути менш схильними до зневоднення.

Вивчення залежності вологості поверхні хвостів від температури навколишнього середовища показує, що хвости за спекотної погоди за короткий період (приблизно 7 днів) практично повністю втрачають вологість від початкового значення 23,58% до 0,71%. При зниженні їх вологості до 8-9 % і швидкості вітру 2-5 м/с вони легко піддаються вивітрюванню і стають інтенсивними неорганізованими джерелами пилу. При швидкості вітру від 4 до 10 м/с та вологості хвостів 8-10% питоме здування пилу за секунду становить 25 мг/м^2, а при вологості 1-2% - ці показники коливаються в межах від 400 до 735 мг/м^2, тобто збільшуються майже в 30 разів.

Зміна вологості впливає на зміну складу хвостів та їх *токсичність* завдяки переважному впливу природних факторів. З припиненням подачі води хвостова пульпа висихає, що призводить до висихання та ущільнення заскладованого матеріалу, зниження його обсягу, до прискорення тих фізико-хімічних процесів, які сприяють вимиванню та перерозподілу домішок, а з часом - до зміни токсичності відходів. Це може змінити фізичні властивості

(наприклад, пористість) та доступність компонентів для подальших хімічних реакцій. З часом хвости можуть стабілізуватися, але їх склад та безпека залежать від вихідної сировини та умов зберігання.

На зміну складу хвостів впливають такі значні фактори, як хімічні та фізико-хімічні процеси, а саме: окислення деяких металів у складі хвостів киснем повітря, що змінює їх хімічну форму і розчинність; вимивання водорозчинних солей та токсичних речовин опадами та поверхневими водами; висихання, вивітрювання, кристалізація, що посилює концентрацію токсичних речовин та інші.

Після закінчення експлуатації хвостосховища в його відкладеннях відбуваються суттєві зміни *щільності та пористості*, які є результатом природного процесу осушення та консолідації (ущільнення) хвостів під дією власної ваги. Їх щільність впливає на розподіл забруднюючих речовин у повітрі, тому що чим нижча щільність (дрібніші та легші частки), тим легше їм підніматися й переноситися вітром у вигляді пилу, а також випаровуватися у вигляді аерозолів, збільшуючи ризик респіраторних захворювань і забруднення території, особливо коли поверхня хвостосховища висихає та зазнає вплив вітрової ерозії.

Щільність хвостів у хвостосховищі також безпосередньо впливає на фільтрацію води, стійкість дамб і швидкість осідання твердих частинок, що, в свою чергу, визначає просторовий розподіл забруднюючих речовин: вони повільніше мігрують із щільними хвостостами, що створює більш значне навантаження на підземні води і ґрунти. Підвищена щільність може призвести до проривів і руйнування хвостосховища та загрожує масштабним забрудненням території.

Досліджені хвости залізної руди мають щільність зерна 2,89 г/см^3 згідно з Уніфікованою системою класифікації ґрунтів (USCS) і класифікуються як пилуватий пісок. Основні властивості хвостів: природна вологість: 17–24%. Щільність в сухому стані: 1790 кг/м^3. Питома вага хвостів фабрик кольорової металургії коливається від 2,7 до 3,2 г/см^3 (т/м^3), чорної металургії - від 2,6 до 4,2 г/см^3 (т/м^3).

Вплив щільності хвостів на розподіл забруднюючих речовин у повітрі:

- утворення пилу: дрібні сухі та легкі хвости (низької щільності) легко піднімаються вітром, утворюючи хмари пилу та переносячи токсичні важкі метали (цинк, свинець, миш'як) на більш значні відстані;

- аерозолі та випаровування: вологі хвости високої щільності можуть випаровувати воду, що містить розчинені токсичні речовини, утворюючи аерозолі, які також поширюються в повітрі;

- стабільність поверхні: більш ущільнені хвости (особливо після намивної укладки) створюють більш стабільну поверхню, зменшуючи запилення порівняно з пухкими відкладеннями;

- тип хвостосховища: намивні хвостосховища, де хвости осідають з водою, частіше мають більш щільний осад у нижній частині, але верхні шари можуть бути сухими та пилити [1].

Не менш важливим параметром є *пористість* (коефіцієнт пористості) матеріалу, яка зменшується внаслідок ущільнення в процесі витиснення води з пор та як наслідок - зменшення загального об'єму.

Основні фактори, що впливають на зміну пористості:

- сила тяжіння: власна вага верхніх шарів хвостів є основною рушійною силою ущільнення;
- дренаж: наявність ефективних дренажних систем і природна водопроникність матеріалу дозволяють воді виходити, прискорюючи консолідацію;
- гранулометричний склад: більші частинки (фракції піску) ущільнюються швидше, ніж дрібнодисперсні (глинисті) хвости, які можуть залишатися високовологими і мати високу пористість протягом десятиліть;
- висихання/випаровування: кліматичні умови (температура, опади) впливають на швидкість висихання поверхневого шару, що призводить до утворення сухої кірки з низькою пористістю.

Висновки:

Припинення експлуатації хвостосховища призводить до наступних наслідків:

- збільшується щільність та зменшується пористість хвостових відкладень внаслідок процесів консолідації та дренування, які тривають;
- загальна (природна) щільність змінюється в залежності від вологості, але ключовим показником є збільшення щільності твердої фази в одиниці об'єму;
- зміна токсичності відходів: хімічні процеси можуть як знижувати, так і підвищувати токсичність хвостів, залежно від характеру реакцій;
- погіршення екологічної ситуації: вилуговування токсичних компонентів може призвести до забруднення підземних вод, а запилення – до забруднення повітря;
- деякі види рослин можуть використовуватися в заходах для зниження рівня забруднення, що поліпшує екологічну ситуацію, але в цілому процес є складним і залежить від типу відходів.

Зазначені процеси досить тривалі та виявляють значний вплив на стабільність функціонування хвостосховищ (незалежно від їх статусу). З часом відходи стають нестабільними, їх токсичність може зростати, що потребує заходів щодо стабілізації та рекультивації території та постійних спостережень за системою екологічного моніторингу, яка не втрачає своєї актуальності протягом тривалого періоду [1, 2].

Література

1. Классификация объектов отходов горнодобывающей промышленности (2007) Заключительный отчет. Подготовлено DHI Water Environment Health (Вода, окружающая среда, здоровье) в сотрудничестве с SGI, Шведский геотехнический институт и AGH, Университет науки и технологии, Краков. Европейская комиссия, Генеральный директорат по вопросам окружающей среды, 204 стр.
2. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям для управления хвостами и пустыми породами в горнодобывающей деятельности (2004) ЕЭК ООН, 517 стр.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ ОЦІНКИ КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Завідувач лабораторії Хорольський А.О.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

На стадії проєктування вугледобувних підприємств одне з першочергових завдань полягає в оцінці надійності технологічної схеми. Згідно [1] технологічна система це сукупність функціонально пов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для виконання заданих процесів та операцій. Технологічні схеми вугільних шахт відносяться до машинних технологічних систем, адже вони є відкритими та на них впливає зовнішнє середовище. Наприклад, коли ми розглядаємо видобуток вугілля, то слід враховувати і схеми проходки і транспортування вугілля на поверхню. В умовах шахти на надійність впливає рівень організації робіт, гірничо-геологічні умови, технологія ведення робіт, технологічні зв'язки між обладнанням – ці показники можна виразити коефіцієнтом готовності. Для випадку експоненційних законів безвідмовності і ремонтопридатності системи, вірогідність $P_г$ того, що система знаходиться в працездатному стані в момент часу (t+dt) визначиться за формулою

$$P_г = (t + dt) = P_{Н1} + P_{Н2},$$

де $P_{Н1}$ – вірогідність того, що система є працездатною в момент часу t і буде залишатись працездатною в інтервалі (t, t+dt); $P_{Н2}$ – вірогідність того, що система є непрацездатною в момент часу t і відновить свою роботу в момент часу (t, t+dt). Ці вірогідності можна записати наступним чином:

$$P_{Н1} = P'_{г(t)}(1 - \lambda dt),$$
$$P_{Н2} = [1 - P_г(t)]\lambda_{в dt}.$$

Тоді, отримаємо диференціальне рівняння

$$\frac{dP_г(t)}{dt} + (\lambda + \lambda_в)P_г(t) = \lambda_в$$

Вирішивши рівняння для початкового моменту $P_г(0)$=1 отримаємо формулу для визначення $P_г$(t) в будь-який момент часу

$$P_г(t) = \frac{\lambda_в}{\lambda + \lambda_в} + \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_в} e^{-(\lambda+\lambda_в)t}$$

Виразивши інтенсивності λ, $\lambda_в$ через середній час відмов і час відновлення отримаємо

$$P_{\text{г}}(t) = \frac{m_t}{m_t + m_{t_{\text{в}}}} + \frac{m_{t_{\text{в}}}}{m_t + m_{t_{\text{в}}}} e^{-\left(\frac{1}{m_t} + \frac{1}{m_{t_{\text{в}}}}\right)t}$$

за умови $t \to \infty$

$$P_{\text{г}} = \frac{\lambda_{\text{в}}}{\lambda + \lambda_{\text{в}}} = \frac{m_t}{m_t + m_{t_{\text{в}}}}$$

де m_t – сумарний час справної роботи; $m_{t_{\text{в}}}$ – сумарний час вимушених простоїв.

Із цього слідує, що коефіцієнт готовності може бути підвищений за рахунок зменшення часу безвідмовної роботи та залежить від узгодженості ланок. Для оцінки технологічної схеми вугільної шахти можна застосувати мережі Петрі [2]. Логіка мереж Петрі полягає в представленні статичної схеми вугільної шахти (обладнання, зв'язки) у вигляді динамічної системи. Цю систему утворюють кола, які відповідають позиції (стану) системи, а також переходи (як події). До позицій відносять стани: роботи, ремонту, очікування; до переходів: відмова, відновлення. Також, існують фішки – це маркери переходів, які показують чи виконується умова. Якщо фішка знаходиться у відповідному колі, то система працює. Алгоритм дослідження наступний: спочатку задається технологічна схема вугільної шахти, як сукупність обладнання (комбайни, вибійні конвеєри, магістральні конвеєри, тощо), яке відповідає виробничій ситуації. Для кожного вузла (вибій, конвеєр, магістраль), на початковому етапі, задають характеристики: інтенсивність відмов, час відновлення, показник організаційно-технічного рівня [3]. Далі відбувається генерація подій: на кожному кроці генерується ймовірність відмов/відновлення, після цього відбувається перевірка зв'язності, тобто оцінка здатності системи передачі ресурсу (в нашому випадку вугілля). На фінальному етапі відбувається оцінка працездатності системи

$$K_{\text{г}}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t \Phi(\tau) d\tau$$

де $\Phi(\tau)$ – функція працездатності системи (0 або 1 для одного вибою, або частка справних вибоїв для складної системи).

Якщо узагальнити логіку застосування мереж Петрі для оцінки технологічної схеми вугільних шахт, то вона полягає в підсумовуванні співвідношення працездатних станів, які виражаються масивом векторів *M* [1, 1, …, *n*], де *n* – кількість ланок в робочому стані або регенерованих внаслідок ремонту (обслуговування) до непрацездатних, які виражається вектором *N* [0, 1, …, *n*] (вектор *N* може містити будь-які значення відмінні від вектору *M*). Інакше кажучи, для умов шахти, ми робимо 1440 симуляцій стану (кількість робочих хвилин), де 1 симуляції відповідає 1 хвилина циклу з видобутку. В результаті моделювання оцінюється позиція фішки (фішка це елемент мережі Петрі, який відповідає виконанню умови або місцезнаходження ресурсу), якщо фішка може

зайняти позицію, то стан працездатний, в іншому випадку – ремонт або відновлення. Тепер стає зрозумілим, що моделювання схоже на запуск таймеру. В момент коли фішки переміщуються, то таймер підраховує працездатний стан, коли фішка відсутня, то запускається підрахунок часу відновлення і регенерації системи до працездатного стану.

На рис. 1 показано результати моделювання коефіцієнту готовності для шахти «Степова» ДХК «Павлоградвугілля». Як видно із рис. 1 шахта є динамічно стійкою, адже зі збільшенням кількості вибоїв не відбулось суттєвого зменшення коефіцієнту готовності.

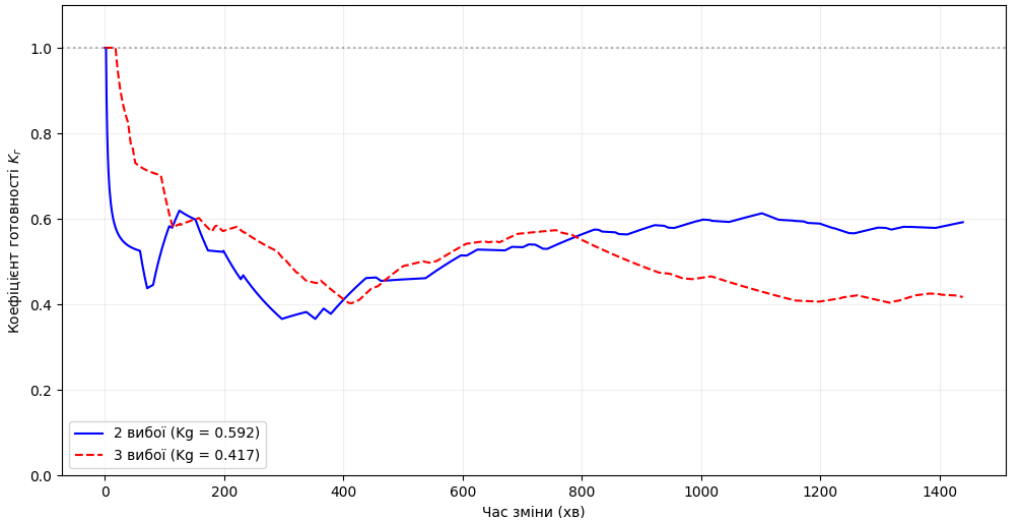


Рис. 1

Аналогічно моделювання проводилось і для інших шахт. Це дозволило отримати наступні висновки:

1. Дослідження надійності технологічних схем вугільних шахт на основі мереж Петрі виявило диференційований вплив топологічної складності на ефективність шахт. Для підприємств з низьким рівнем адаптивності оптимальною є мінімалістична структура (один вибій), тоді як для потужних підприємств доцільною є структура з кількістю вибоїв понад 2, де ефект масштабу забезпечує самостабілізацію динамічного ККД.

2. Ефективність масштабування очисного фронту шахти прямо пропорційна надійності її магістральної транспортної мережі. Для кожної топологічної структури існує критичний поріг надійності магістралі, за яким збільшення кількості вибоїв призводить до деградації загального коефіцієнта готовності системи.

Література

1. ДСТУ 2470-94 Надійність техніки і системи технологічні. Терміни та визначення.
2. Hopcroft J. E., Motwani R., Ullman J. D. Introduction to automata theory, languages, and computation. Acm Sigact News. – 2001. – Т. 32. – №. 1. – С. 60-65.
3. Хорольський А. О., Гріньов В. Г. Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності //Физико-технические проблемы горного производства. – 2018. – № 20. – С. 132-146.

INNOVATIVE PROCESSING OF GRANULAR MATERIALS IN DRUM MACHINES WITH AUTO-OSCILLATING INTRA-CHAMBER FILLING IN SOFT AND HARD SELF-EXCITATION MODES

[1]Higher category lecturer Deineka K.Yu.,
[2]Professor Naumenko Yu.V., [2]Master's student Zhabchyk S.V.
[1]Rivne Technical Vocational College of
National University of Water and Environmental Engineering,
[2]National University of Water and Environmental Engineering

The use of auto-oscillating motion mode of intra-chamber filling is an innovative direction of cardinal increase of the relatively low energy efficiency of various technological processes of processing granular materials in drum-type machines [1]. Self-excitation of auto-oscillations allows to significantly intensify the working processes of machines, including the most energy-intensive and widespread process of grinding in drum mills [2].

The first video recording of auto-oscillations of the granular filling of the rotating drum chamber was carried out in [3]. Subsequently, the conditions for the stability of the movement of the drum machine unit were established [4], the mechanism for implementing the self-oscillating mode of the filling flow was revealed [5], and a model of the conditions and factors for the oscillatory stability of the flow of a two-fraction granular filling was constructed [6]. In addition, the influence of the degree of filling of the chamber and the content of the crushed material in the filling on the technological and energy efficiency of the auto-oscillating grinding process in a drum mill was experimentally evaluated [7-10].

Recent studies have revealed two qualitatively different modes of self-excitation of fill oscillations – soft (Fig. 1) and hard (Fig. 2), which significantly affect the implementation of technological processes.

Fig. 1

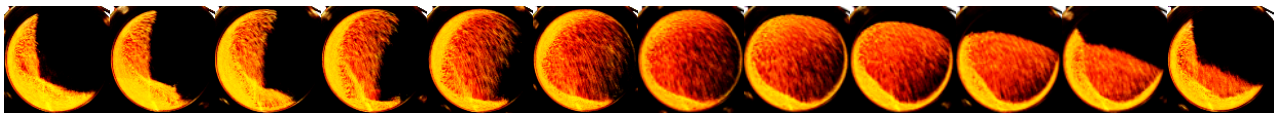


Fig. 2

In the soft mode (Fig. 1), there is a smooth self-excitation of quasi-harmonic auto-oscillations of the filling with a limited amplitude. This mode is characterized by monostability, reduced bifurcation values of the drum rotation speed and the dilatancy of the filling in the chamber, and an increased number of pulsations per drum rotation. With an increase in the degree of filling of the loading chamber, the manifestation of the soft self-excitation mode increases and becomes clearly pronounced.

In the rigid mode (Fig. 2), there is a jump-like self-excitation of discontinuous relaxation auto-oscillations of the fill of an inharmonic form with a significant

amplitude. This mode is characterized by bistability, increased amplitude, reduced quality factor and increased degree of relaxation of auto-oscillations. With a decrease in the degree of filling of the chamber, the manifestation of the rigid self-excitation mode intensifies and becomes clearly pronounced.

Based on the results obtained, auto-oscillating processes of grinding, granulation, washing, classification and mixing in a soft self-excitation mode [11-15] and processes of heat treatment, grinding, drying, reaction and tumbling in a hard self-excitation mode [16-20] were patented.

In the future, it is advisable to determine the influence of the rotation speed on the amplitude of auto-oscillations of the intra-chamber granular fill during self-excitation in soft and hard modes and, on this basis, to create innovative methods for effective control of auto-oscillating technological processes of processing granular materials in the drum.

Literature

1. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V., Zhabchyk S. V. Innovative self-oscillating working processes for processing granular materials in drum-type technological machines // Abstracts of the XXII International Scientific and Technical Conference "POTURAEV READINGS". NTU "Dnipro Polytechnic". February 14. Dnipro 2025. P. 48-50. https://science.nmu.org.ua/ua/ndc/sector_nttm/poturaev-readings/thesiz-2025.pdf

2. Poturaev V. Y., Sokur N. Y. Melnytsy samoyzmelchenyia [Autogenous mills]. Kyev: Naukova dumka, 1988. 220 p.

3. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. https://doi.org/10.3203/IWF/C-921

4. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10

5. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097

6. Deineka K., Naumenko Yu. Mathematical modeling of the rotating drum granular fill flow oscillatory stability. Vibroengineering Procedia. 2025. Vol. 59. P. 70–81. https://doi.org/10.21595/vp.2025.25248

7. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461

8. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291

9. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050

10. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948

11. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 157646 U. Sposib podribnennia v barabannomu mlyni iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of grinding in a drum mill with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B02C 17/00. No. u202403236; declareted: 19.06.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826100/
12. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 157868 U. Sposib hranuliuvannia zernystoho materialu v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of granulating granular material in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B01J 2/12. No. u202403219; declareted: 18.06.2024; published: 04.12.2024, Bul. No. 49, 2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1831400/
13. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 158069 U. Sposib promyvannia zernystoho materialu v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of washing granular material in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B03B 5/56, B01J 2/12. No. u202403237; declareted: 19.06.2024; published: 25.12.2024, Bul. No. 52, 2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1834666/
14. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 158585 U. Sposib klasyfikatsii zernystoho materialu v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A Method of classifying granular material in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B07B 1/22. No. u202403225; declareted: 18.06.2024; published: 26.02.2025, Bul. No. 9, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1843634/
15. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 158884 U. Sposib zmishuvannia zernystykh materialiv v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of mixing granular materials in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B01F 29/60. No. u202403222; declareted: 18.06.2024; published: 02.04.2025, Bul. No. 14, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1849725/
16. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 158810 U. Sposib teplovoi obrobky zernystoho materialu v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of heat treatment of granular material in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP F27B 7/00. No. u202404431; declareted: 12.09.2024; published: 19.03.2025, Bul. No. 12, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1846648/
17. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 159078 U. Sposib podribnennia v barabannomu mlyni iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of grinding in a drum mill with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B02C 17/00. No. u202404430; declareted: 12.09.2024; published: 23.04.2025, Bul. No. 17, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1852548/
18. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 159087 U. Sposib sushinnia zernystoho materialu v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of drying granular material in a drum with self-oscillating with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP F26B 11/04. No. u202404622; declareted: 25.09.2024; published: 23.04.2025, Bul. No. 17, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1852588/
19. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. UA 159719 U. Sposib provedennia heterohennoho protsesu z zernystym materialom v barabannomu reaktori iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method for conducting a heterogeneous process with granular material in a drum reactor with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B01J 8/10, B01J 19/28. No. u202500153; declareted: 14.01.2025; published: 25.06.2025, Bul. No. 26, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1862711/
20. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V., Zhabchyk S. V. Pat. No. UA 160006 U. Sposib haltuvannia detalei v barabani iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method of tumbling parts in a drum with self-oscillating intra-chamber filling]. MKP B24B 31/02. No. u202404621; declareted: 25.09.2024; published: 30.07.2025, Bul. No. 31, 2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1868220/

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНИХ ЖИВИЛЬНИКІВ З ВІБРОУДАРНИМ ПОЛІЧАСТОТНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВІБРОВИПУСКУ ГІРСЬКОЇ МАСИ

Д.т н. проф. Шевченко В.Г., д.т.н., с.н.с. Шевченко Г.О.,
к.т.н. Сухарєв В.В., головний конструктор Сущенко О.І.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
Ph.D, Associate professor Jamil Haddad
Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan

Проблема стабільного випуску та транспортування гірської маси з акумулюючих ємностей при підземному видобутку залишається однією з ключових у гірничій галузі. Сучасні умови експлуатації вимагають від вібраційних живильників здатності працювати під високим навантаженням від стовпа обваленої руди в гірничій виробці над лотком живильника, що часто призводить до «завалу» обладнання гірничою масою, припинення коливань та вібровипуску. Виникають також зависання гірничої маси в виробці внаслідок подоутворення. Актуальність даного дослідження базується на необхідності переходу від традиційних гармонійних режимів збудження живильників до віброударних полічастотних коливань. Такі режими, як зазначається у роботі [1], дозволяють інтенсифікувати процес руху сипких середовищ за рахунок підвищення і розширення частотного спектру збудження.

Експериментальні дослідження проводилися на базі спеціалізованого стендового комплексу, розробленого в ІГТМ НАН України. Головною особливістю експериментальної установки живильника була можливість регулювання інтенсивності збудження за рахунок регулювання зазору між ударним приводом і лотком живильника. Дослідження здійснювалися шляхом імітації роботи живильника «під завалом» в бункері з використанням гранітного щебеню фракції 40-70 мм. Процес вимірювання базувався на використанні п’єзоелектричних акселерометрів KD35, сигнали з яких оброблялися за допомогою багатоканальної системи збору даних та піддавалися спектральному аналізу.

Аналіз отриманих даних підтвердив теоретичні положення щодо ефективності віброударних полічастотних коливань просіваючих та транспортуючих поверхонь [2]. З'ясовано, що при встановленні динамічного зазору в діапазоні 0,5–1,0 мм прискорення лотка зростають до 65 м/с², що перевищує показники роботи типових живильників.

Особливе значення має виявлений ефект проникної здатності вібрації. В ході експериментів зафіксовано, що прискорення часток гірської маси в бункері при віброударному режимі сягають 650 м/с², що фактично вдвічі більше за прискорення, отримані при нульовому статичному зазорі. Це забезпечує примусове руйнування структур статичної рівноваги та запобігає подоутворенням з зависанням гірничої маси в виробці, що підвищує ефективність вібровипуску.

Література

1. Булат А.Ф., Шевченко Г.А. Влияние поличастотных колебаний просеивающих поверхностей вибрационных грохотов на разделение сыпучих материалов // Науковий вісник НГУ. – Дніпро, 2010. – Вип. 4. – С. 92–97.
2. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов // Збагачення корисних копалин. – Дніпро: НГУ, 2009. – Вип. 38 (79). – С. 44–50.

ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТУ НА РІВЕНЬ ШУМУ ЛА

Старший дослідник, к.т.н. Тинина С.В.,
старший дослідник, д.т.н. Васильєв Д.Л.,
аспірант Кулак Є.А., аспірант Кущ О.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Вібрації конструкцій корпусу чи рами будь якого пристрою безпосередньо впливає на рівень шуму, особливо це стосується малих ЛА. [1]. Низькочастотні вібрації конструкцій створюють шуми також рівня.

Основна задача яку вирішується у процесі створення кожного ЛА це отримання такої конструкції, вплив частотних характеристик якої на експлуатаційні якості є мінімальним. Оскільки такі вібрації можуть накладатись одні на одних та істотно впливати на роботу конструкції, погіршуючи якість роботи.

Основні фактори що впливають на рівень вібрацій:

1. Жорсткість та Форма конструкції

- Ребра жорсткості знижують вірогідність виникнення резонансу

Чим жорсткіша конструкція, тим менше рівень вібрацій. Невдалі геометричні форми «підсилюють» рівень шуму. [1]

2. Якість механічних елементів

- Якість підшипників, шестерень, вентиляторів
- Точність збирання (люфти, перекоси)

Чим більші відхилення геометричних параметрів,— тим гірша механіка і більше вібрацій і шуму.

3. Матеріали конструкції

- Тонкий пластик легко резонує й підсилює звук.

Метал у поєднанні з композитними матеріалами краще зменшує вібрації, а наявність шумопоглинальних вставок сприяє його поглинанню. [2]

4. Охолодження та рух повітря

- Високі оберти вентиляторів, турбін або пропелерів, також збільшують рівень шуму. Вони є наслідком, тертя та руху повітря. Шуми від роботи таких елементів утворюють високочастотні вібрації та турбулентність. Турбулентність через вузькі або різкі канали збільшує свист і гул. [2]

Таким чином, формування акустичного поля ЛА відбувається за рахунок акустично-частотних характеристик елементів конструкції апарату та є унікальною сукупністю, яка відрізняє його від інших. [1-3]. Зменшення рівня шуму та отримання конструкції з мінімальним сумуванням вібрацій є над складною технічною, а її рішення актуальною науковою і інженерною задачею.

Література

1. Вібрації у техніці. Довідник у 6 т. Ред. рада: В. Н. Челомей и др. М: Машинобудування. 1981
2. Кузьмін В.І. Основи технічної акустики. – К.: Вища школа, 2010.
3. Harris C.M. Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control. – McGraw-Hill, 1998.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЕННЯ БАЗАЛЬТУ У ВІБРОУДАРНОМУ ПОЛІЧАСТОТНОМУ МЛИНІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ ЧАСТИНОК

Д.т.н., с.н.с. Шевченко Г.О., д.т.н., проф.. Шевченко В.Г.,
к.т.н., доцент Титов О.О., д-р. філ. Курілов В.С., аспірант Самодрига О.А.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Віброударний полічастотний млин є ефективним обладнанням для тонкого подрібнення твердих гірничих порід та техногенних матеріалів [1]. Він, зазвичай, містить помольну камеру, заповнену сталевими кулями на 75-95% з їх можливої кількості, та має спеціальний тип приводу із однобічними пружними зв'язками, наявність зазору в яких забезпечує високі прискорення куль при співударяннях та полічастотний спектр навантаження частинок, що суттєво збільшує кількість цих співударянь. Завдяки цьому матеріал покращує свої фізико-хімічні властивості в процесі так званої механоактивації.

Було проведено експеримент з подрібнення базальту Рафаловського родовища Волинської області, що містять цілу низку корисних компонентів, таких як залізо, мідь, титан тощо [2], з метою отримання сировини для подальшого збагачення.

Вихідна крупність базальту становила менше 10 мм, кінцева крупність для ефективного розкриття мінералів становила менше 100 мкм.

Були отримані дані щодо кінетики подрібнення базальту, що враховували розподіл гранулометричного складу залежно від умов та часу подрібнення за окремими класами крупності в діапазоні 50-400 мкм.

Дані статистичної обробки результатів дослідів, показують, що розподіл продуктів подрібнення за крупністю частинок має бімодальний характер. Максимуми вмісту частинок (моди) припадають на значення, відповідно, близькі до вихідної крупності, що є значно вище за 400 мкм, а також фракцію -90+50 мкм.

Найбільш швидко подрібнюваною фракцією, що має мінімальний вміст у матеріалі, є -400+250 мкм, тому що її частинки відносно невеликого розміру та, одночасно, мають високу ймовірність захоплення кулями.

В результаті було встановлено, що найбільш великі частинки, що наближуються до вихідної крупності 10 мм, мають набагато більшу міцність в порівнянні з частинками, що вже ударно навантажувались та в результаті зменшили міцність за рахунок накопичення руйнівних ефектів, та найгірші умови захоплення кулями. Отже, їх кількість в матеріалі постійно зменшується, проте досить повільно. З іншого боку, частинки крупністю -90 мкм мають досить низьку вірогідність потрапляння в зону контакту куль, отже, руйнуються також повільно, що призводить до їх накопичення в матеріалі порівняно з більш крупними частинками.

Література.

1. Шевченко Г.О, Шевченко В.Г. Аналітичні дослідження вібраційного млина з віброударним збудженням камери подрібнення / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V International Conference "Essays of Mining Science and Practice", Ukraine, Dnipro, 08-10.11.2024.

2. Обґрунтування промислових кондицій вмісту міді і цінних металів у відвалах базальтових кар'єрів Волині / Шевченко Г.О., Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я., Чолишкіна В.В., Курілов В.С. // Вісник НУВГП. Серія Технічні науки.- 2022.- Вип. 1 (97).- С. 161-176.

ВПЛИВ ПОРИСТОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ САМОЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ

Проф. Мінєєв С.П., менеджер ДТЕК Мірошниченко В.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

В ІГТМ НАН України проведене дослідження, яке дозволило всебічно оцінити вплив вологості та пористості на схильність вугілля до самонагрівання і самозаймання, що має як наукове, так і прикладне значення для гірничої галузі [1- 4]. Виявлено, що взаємодія між вологістю і пористістю має складний характер, який визначає термічну стабільність вугільних масивів [5, 6]. Далі розглянемо, як на процес самонагрівання вугілля справляють ці два ключові фактори - вологість та пористість.

Вплив вологості. Рівень вологості є одним із основних параметрів, що визначає схильність вугілля до самонагрівання. Вода безпосередньо впливає як на кінетику окиснювальних реакцій, так і на теплові процеси всередині пористого середовища. За низької вологості (менше 5 %) поверхня частинок залишається практично сухою, що забезпечує вільний доступ кисню та активізує реакції низькотемпературного окиснення. Це пояснюється двома основними механізмами: по-перше, зниженням швидкості дифузії кисню до поверхні вугільних частинок; по-друге, охолоджувальним ефектом випаровування вологи, який частково відводить тепло, що утворюється внаслідок реакцій окиснення. При вологості близько 10–15 % вугілля стає значно менш схильним до самонагрівання. Однак при перевищенні вологості понад 20 % викликає низку негативних наслідків, які мають не лише технологічний, а й безпековий характер. Надмірна кількість води змінює фізичні властивості вугілля — воно втрачає сипкість, стає липким. Злежування обмежує циркуляцію повітря між шарами вугілля, створюючи зони без доступа кисню — так звані анаеробні ділянки. У цих ділянках можуть розвиватися мікроорганізми, які споживають залишковий кисень і виділяють гази (метан, вуглекислий газ та ін.), сприяючи нагромадженню тепла. При подальшому підсушуванні або порушенні шару такі області знову контактують з повітрям, що може спричинити раптове прискорення окиснення і локальне самонагрівання.

Таким чином, надмірна вологість не запобігає самонагріванню, а лише змінює його характер: зовнішні шари залишаються холодними, тоді як усередині злежаних мас утворюються потенційно небезпечні осередки тепла.

Вплив пористості. Збільшення пористості приводить до підвищення схильності до самозаймання. Це пов’язано з полегшеним доступом кисню до внутрішніх зон матеріалу та зниженням ефективної теплопровідності при високій пористості. Зі зростанням пористості збільшується об’єм порового простору, який бере участь у дифузії кисню та утриманні тепла. Цей фактор визначає інтенсивність хімічних реакцій у внутрішніх зонах вугільного масиву та ступінь його теплової ізоляції. Іншими словами, пористість є однією з ключових структурних властивостей, що впливають на процеси теплопереносу, дифузії кисню та швидкість окиснення. Зі збільшенням загальної пористості зростає об’єм порового простору, у якому накопичується тепло та відбуваються

хімічні реакції, що визначають схильність вугілля до самонагрівання. Як відомо, пористість поділяється на відкриту та закриту [6- 8].

Вугілля з розвиненою відкритою поровою структурою, характеризується високою реакційною здатністю та значною внутрішньою поверхнею. Такі вугілля швидко адсорбують кисень і схильні до самонагрівання навіть за помірних температур. Для порівняння, антрацити, що мають переважно закриту пористість, відзначаються більшою щільністю та вищою теплопровідністю. Отже, збільшення відкритої пористості суттєво підвищує ризик самонагрівання, а її контроль під час зберігання й перероблення є важливою умовою запобігання самозайманню.

Крім того, підвищена частка закритих пор у вугіллі може призводити до локального накопичення тепла в його об'ємі без інтенсивного газообміну. Це пояснюється тим, що закриті пори не мають виходу на поверхню частинок, тобто повітря або гази всередині них ізольовані від зовнішнього середовища. Коли у вугіллі відбуваються повільні реакції окиснення чи сорбції газів, у цих ізольованих об'ємах утворюється певна кількість тепла, яке не може ефективно розсіюватися через відсутність газообміну. У таких умовах тепло передається лише шляхом теплопровідності, що значно менш ефективно, ніж конвекційне охолодження у системі з відкритими порами.

Поступово температура в таких ізольованих порах може зростати, а гази, що там містяться (водяна пара, продукти окиснення, метан та інші леткі речовини), розширюються і створюють внутрішній тиск. Під його дією структура вугілля частково розтріскується, відкриваючи нові мікропори, через які починає надходити кисень. Це, у свою чергу, активізує процес окиснення і сприяє подальшому нагріванню вугільного матеріалу. Таким чином формується локальний осередок самонагрівання, який може поступово поширюватися вглиб масиву.

Отже, навіть за переважання закритої пористості вугілля залишається потенційно небезпечним щодо самонагрівання, особливо при тривалому зберіганні без достатнього тепловідведення. Саме тому при оцінюванні теплової стійкості вугільних мас важливо враховувати не лише загальну пористість, а й співвідношення між відкритими та закритими порами, що визначають характер тепло- та газообміну в матеріалі.

<u>Спільний вплив вологості та пористості.</u> Пористість і вологість є взаємопов'язаними параметрами, що разом визначають термічну стійкість вугільного масиву. Збільшення пористості сприяє інтенсивнішому доступу кисню до реакційно активних центрів і підвищенню швидкості окиснення. Водночас волога діє у протилежному напрямку — вона частково блокує поровий простір, поглинає частину тепла при випаровуванні та зменшує інтенсивність окиснювальних реакцій. Найбільша небезпека виникає для сухого та високопористого вугілля, у якому поєднуються два чинники: легкий доступ кисню й низька теплопровідність. У таких умовах навіть невелика кількість матеріалу може нагріватися швидше, ніж відводиться тепло. Це означає, що самонагрівання можливе навіть у порівняно малих штабелях або бункерах.

Підтримання оптимальної вологості (10–15%) здатне частково компенсувати негативний вплив високої пористості. Волога зменшує доступ кисню до внутрішніх пор, підвищує теплопровідність і діє як природний регулятор теплового балансу, відводячи частину тепла через процес випаровування. Таким чином, контроль вологості є одним із найефективніших способів зниження ризику самонагрівання пористих вугілля.

У практичному аспекті це означає, що при зберіганні бурого та суббітумінозного вугілля слід уникати як пересушування, так і надмірного зволоження. Оптимальний рівень вологості забезпечує стабільний тепловий режим і зменшує ймовірність переходу процесів повільного окиснення у стадію самозаймання.

Слід відзначити практичне значення критерію Френк-Каменєцького. Використання критичного розміру $(L_{c)})$ дає змогу безпосередньо пов'язати теплофізичні властивості вугілля з параметрами проектування, наприклад, складів. Таким чином, запропонована модель забезпечує перехід від теоретичних оцінок до інженерних рішень, що мають безпосереднє практичне застосування у сфері промислової безпеки.

Наукове значення проведеного дослідження полягає у комплексному аналізі впливу вологості та пористості вугілля на процеси самонагрівання і самозаймання. У роботі запропоновано узагальнену фізико-математичну модель, що поєднує процеси низькотемпературного окиснення, фазових перетворень вологи та теплопереносу у пористому середовищі. Результати дослідження поглиблюють наукове розуміння термохімічних процесів у вугільних масах і можуть бути використані для удосконалення теоретичних моделей пожежної небезпеки у гірничих виробках та на складах.

Літуратура

1. Булат А.Ф., Минеев С.П., Смоланов С.Н., Беликов И.Б. Пожары в горных выработках. Изоляция аварийных участков // Харьків: В деле, 2021. – 712 с.
2. Мінєєв С.П., Янжула О.С., Чорний А.С. Теплофізичні процеси в гірничих виробках при пожежах. – Дніпро: Видавниць Біла К.О., 2024. – 148 с. ISBN 978-617-645-519-6
3. Минеев С.П. Враг или друг, шахтный метан, мы решаем сами // Охрана труда, 2017, № 7. – С. 17-21.
4. Минеев С.П. О предупреждение аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах / С.П. Минеев. - Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпро: ИГТМ НАНУ, 2087. — Вип. 138. — С. 115-136. http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/158660
5. Інструкція з протипожежного захисту вугільних шахт: НПАОП 10.0-5.18-04. – 2010. – 23 с.
6. Minieiev, S., Dychkovskyi, R., Prostariski, D., Ryskykh V. Fire risk management and emergency response in mining operations (95 pp.; ISBN 978-83-65593-50-4). KOMAG Institute of Mainig Technology. https://doi.Org/10.32056/KOMAG/Monograph2025.8
7. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов / НАН Украины, Ин-т физики горн. процессов. - Киев: Наук. думка, 2010. - 423 с/ ISBN 978-966-00-0919-4
8. Serhii Minieiev, Alla Prusova, Oleksii Yanzhula, Oleksandr Minieiev and Andrii Khorolskyi THE INFLUENCE OF GREAT DEPTHS ON THE CONDITIONS ACTIVATING THE DESORPTION OF ADSORBED METHANE / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2024, VOL. 19, №. 23, – pp. 1421 – 1427. https://doi.org/10.59018/122475

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ПЕРЕДУМОВИ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ АВАРІЙ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

К.т.н., ст. досл. Агаєв Р.А., д.т.н., с.н.с. Зберовський В.В, к.т.н. Дудля К.Є.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Сучасний етап розвитку вуглевидобутку характеризується поглибленням гірничих робіт та підвищенням концентрації енергоємних процесів у складних геомеханічних умовах. Особливу загрозу становить формування зон небезпеки проявів самозаймання і газових вибухів, зокрема у виробленому просторі (рис. 1), що суттєво підвищує ризик виникнення аварій техногенного та природно-техногенного характеру [1, 2].

Рис. 1

У нинішніх реаліях саме аварії, пов'язані з термохімічними перетвореннями вуглецевмісної речовини, залишаються одними з найбільш небезпечних за масштабами наслідків, складністю ліквідації та рівнем загрози для життя персоналу. Аналіз причин виникнення ендогенних пожеж, вибухів метану та вугільного пилу свідчить про системну методологічну проблему: традиційний підхід розглядає ці явища як відокремлені види аварій. Наукові та нормативні джерела здебільшого зосереджуються на окремих аспектах небезпеки — газовому, пожежному або вибуховому — ігноруючи їх внутрішній фізико-хімічний зв'язок. Такий підхід призводить до формування фрагментарних моделей, які обмежують можливості прогнозування та ускладнюють розробку ефективних превентивних заходів.

Результати багаторічних досліджень та аналіз аварійної практики вказують на спільну природу більшості зазначених небезпечних явищ. В їх основі лежать термохімічні процеси, що розвиваються у вуглепородному середовищі в умовах порушення теплообміну, масообміну та газодинамічної рівноваги. Саме ці процеси визначають накопичення внутрішньої енергії системи, зміну її термодинамічного стану та подальшу реалізацію аварійного сценарію.

Методологічною основою для комплексного вирішення проблеми є інтегрований підхід, який дозволяє розглядати аварію як безперервний еволюційний процес. У межах цього підходу простежується чіткий причинно-наслідковий ланцюг перетворень речовини (рис. 2) [3]:

- активація мікрорівня: трансформація стабільних радикалів у вільні радикали та розрив високореактивних зв'язків;

- окиснення: взаємодія з киснем, що призводить до самонагрівання вугілля;
- газоутворення: виділення продуктів окиснення та інтенсивний піроліз;
- критична фаза: формування умов для полум'яного горіння та вибуху.

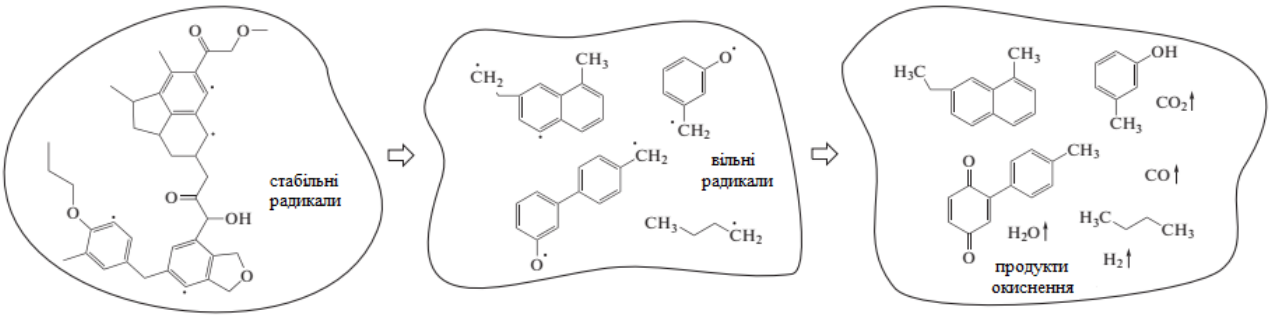


Рис. 2

Такий ланцюг не є сукупністю випадкових подій, а виступає закономірною зміною параметрів термодинамічної системи. Зростання температури, підвищення концентрації реакційноздатних газів та локальні зміни структури порового простору створюють умови для прискорення хімічних реакцій і втрати термодинамічної стабільності. Аварія, у цьому контексті, постає як результат тривалого прихованого розвитку процесів, що формують передумови термодинамічної катастрофи.

Для подолання недоліків фрагментарного підходу виникає об'єктивна необхідність введення уніфікованої наукової категорії. У даній роботі обґрунтовується концепція «термодинамічної аварії» як узагальненої моделі аварійних процесів у вугільних шахтах (рис. 3).

Згідно з цією концепцією, ендогенні пожежі та вибухи (метану чи пилу) розглядаються не як незалежні події, а як послідовні форми реалізації єдиного механізму термохімічного процесу. Термодинамічна аварія трактується як стан гірничої системи, за якого інтенсивність внутрішніх екзотермічних реакцій перевищує можливості системи до саморегуляції. Це призводить до неконтрольованого зростання температури та концентрації горючих газів, що завершується реалізацією аварійного сценарію (рис.4).

Рис. 3

Важливо зазначити, що конкретна форма прояву аварії (пожежа чи вибух) визначається не різною природою явищ, а сукупністю зовнішніх факторів: гірничо-геологічних, газодинамічних і вентиляційних умов, а також просторово-часовими характеристиками розвитку процесу. Запропонована концепція дозволяє

інтерпретувати механізми взаємного переходу небезпечних станів, пояснюючи випадки, коли ендогенна пожежа стає ініціатором вибуху, і навпаки.

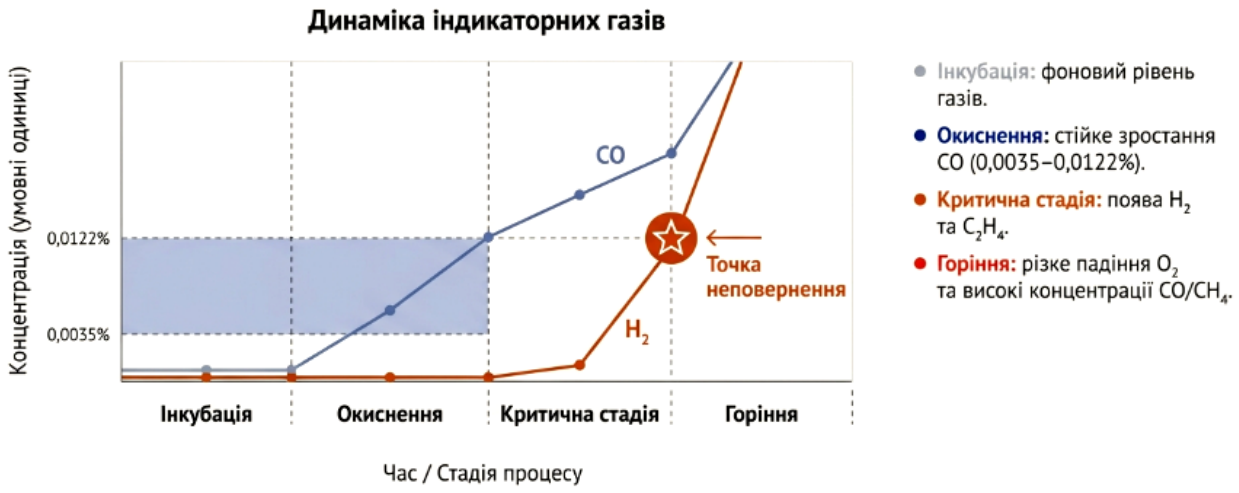


Рис. 4

Впровадження концепції термодинамічної аварії створює нову методологічну основу для розробки інтегрованих систем моніторингу та адаптивного керування безпекою гірничих робіт. Головна перевага полягає у зміщенні фокусу контролю:

- замість спостереження за окремими розрізненими показниками (температура, газовий склад, запиленість), система орієнтується на оцінку загального термодинамічного стану вуглепородного середовища;
- забезпечується можливість раннього виявлення умов формування аварійних сценаріїв ще на стадії прихованого протікання термохімічних реакцій.

Доведено, що традиційний роздільний аналіз пожежної та вибухової небезпеки є недостатньо ефективним, оскільки ігнорує спільну термохімічну природу цих явищ.

Обґрунтовано концепцію «термодинамічної аварії», яка об'єднує ендогенні пожежі та вибухи в єдину систему, розглядаючи їх як різні стадії втрати термодинамічної стійкості гірничого середовища.

Перехід до системної концепції дозволяє суттєво розширити наукове розуміння механізмів виникнення аварій та створює науково-технічне підґрунтя для підвищення ефективності заходів із запобігання аваріям в умовах зростаючих техногенних ризиків.

Література

1. Правила пожежної безпеки для підприємств вугільної промисловості України. - Київ: Мінпаливенерго України, 2004. - 161 с.
2. Hazardous Area Reconstruction and Law Analysis of Coal Spontaneous Combustion and Gas Coupling Disasters in Goaf Based on DEM-CFD / J. Zou, R. Zhang, F. Zhou [і др.] // ACS Omega. – 2023. – V. 8, № 3. – P. 2685–2697. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06103.
3. Преображенський, П. Б. До питання про самозаймання вугілля / П. Б. Преображенський, Т. П. Яковлєва, О. О. Кірєєв // Проблеми пожежної безпеки : зб. наук. пр. – 1998. – Вип. 4. – С. 127–130.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПЕКОЮ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Д.т.н., с.н.с. Зберовський В.В., к.т.н., с.н.с. Петух О.П.,
к.г.н. Зієвська К.О., пров. інж. Криворучко О.Н.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Сучасний етап розвитку гірничодобувної галузі в Україні та світі характеризується неминучим переходом гірничих робіт на глибокі та надглибокі горизонти. У таких умовах геомеханічна ситуація суттєво ускладнюється: спостерігається інтенсивне формування зон підвищеного гірничого тиску, наявність розгалужених мереж тектонічних розломів та техногенних порушень масиву. Поєднання цих факторів з енергоємними технологічними процесами створює критичні передумови для виникнення аварійних ситуацій комплексного термохімічного та газодинамічного характеру.

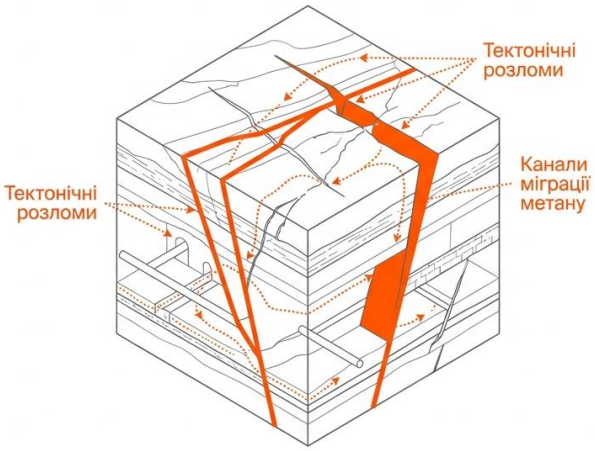
Традиційні методи забезпечення промислової безпеки, що базуються на пасивному захисті, стають недостатніми. Виникає гостра наукова потреба у перегляді фундаментальних підходів до керування станом геотехнічних систем. Ключовою умовою стабільності стає не просто контроль, а активне забезпечення стабільності аерогідромеханічних процесів у замкненому підземному просторі. Реалізація цієї мети можлива лише через впровадження методів адаптивного керування, які здатні гнучко підлаштовуватися під динамічні зміни навколишнього середовища (рис. 1)

Для побудови ефективної системи адаптивного керування насамперед необхідно провести детальний аналіз чинників, що дестабілізують систему. Основними ініціаторами катастрофічних явищ, таких як вибухи газопилових сумішей, ендогенні пожежі та раптові викиди вугілля й газу, є динамічні процеси у гірському масиві та порушення його природної суцільності. Особливу небезпеку становлять зони геологічних розломів, які в напружено-деформованому стані стають колекторами для накопичення підземних вод та горючих газів.

Оскільки стандартні геофізичні методи розвідки (зокрема сейсморозвідка, електророзвідка та магніторозвідка) у підземних умовах часто є економічно витратними та мають низьку роздільну здатність для виявлення дрібних порушень, актуальним стає пошук альтернативних рішень (рис. 2).

У зв’язку з цим, значний науковий інтерес становить метод спостереження природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) [1].

Досвід успішних досліджень у межах Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита підтвердив, що реєстрація імпульсів природного електромагнітного поля дозволяє з високою точністю ідентифікувати просторове положення тектонічних і техногенних порушень. Це дає змогу будувати достовірні тривимірні (3D) моделі масиву та прогнозувати зони підвищеної проникності флюїдів, які є потенційними каналами міграції метану. Розуміння просторового розташування цих зон дозволяє перейти від простої фіксації порушень до формування безпосередньої концепції керування.



Виявлені зони порушень та канали міграції газів стають об’єктами цілеспрямованого впливу в межах концепції адаптивного керування. Сучасні автоматизовані системи (наприклад, широко вживана система «АТМОС») забезпечують лише перерозподіл повітряних потоків залежно від поточної газової обстановки, що є реактивним підходом [2]. Їхні можливості обмежені використанням статичних алгоритмів, які не враховують складне співвідношення концентрацій кисню та метану для точного визначення меж вибухобезпеки, а також ігнорують динаміку зміни токсичних газів (оксиду вуглецю, діоксиду вуглецю, сірководню) та теплових потоків [3].

Пропонований у роботі адаптивний підхід базується на принципі цілісності геотехнічної системи, де аеродинамічні, гідромеханічні та термодинамічні процеси розглядаються як єдиний взаємопов'язаний механізм. Така стратегія передбачає реалізацію наступних кроків:

1. Динамічний моніторинг: перехід від фіксації миттєвого перевищення гранично допустимих концентрацій до безперервного аналізу трендів (тенденцій) зміни параметрів атмосфери з урахуванням впливу виявлених зон порушень.

2. Активна гідродинамічна дія: використання спеціалізованих пристроїв в гідравлічних системах для цілеспрямованого керування фільтраційними властивостями масиву. Це дозволяє здійснювати декольматацію (очищення пор) або тампонаж (герметизацію) тріщино-порового простору, що дає змогу блокувати переміщення флюїдів (газу та води) ще до їхнього потрапляння безпосередньо у робочі зони [4].

3. Системна терморегуляція: використання природного теплового потенціалу масиву, зокрема енергії шахтних вод та вентиляційних струменів, для нормалізації мікроклімату. Це не лише підвищує загальну енергоефективність підприємства, а й дозволяє активно керувати температурним фактором, який є основним каталізатором небезпечних термохімічних реакцій окиснення вугілля.

Логічним завершенням системного підходу до формування методів впливу є створення надійного інструментарію для їх впровадження. Для реалізації

адаптивного керування у реальному часі необхідне глибоке удосконалення методів комп'ютерного моделювання. Важливим етапом є розробка «цифрових двійників» геотехнічної системи, які інтегрують у собі 3D-моделі тектонічних порушень, розуміння їх просторового розташування та принципів цілісності аеродинамічних, гідромеханічних та термодинамічних процесів в шахті.

Алгоритм керування повинен будуватися на фундаментальних принципах зворотного зв'язку, що успішно зарекомендували себе в автоматизованих системах керування технологічними процесами (АСК ТП) на великих енергетичних об'єктах (наприклад, досвід впровадження на теплоелектроцентралях). Застосування таких алгоритмів дозволяє уникнути небезпечних коливальних режимів у вентиляційній мережі та забезпечити стабільність системи навіть при раптових геомеханічних збуреннях. Система має в автоматичному режимі коригувати параметри провітрювання та дегазації, спираючись на прогнозну модель розвитку аерогідромеханічних процесів.

Створення безпечних умов праці у сучасних геотехнічних системах вимагає переходу від локальних захисних заходів до комплексної стратегії адаптивного керування всіма аерогідромеханічними процесами. Початком створення такої системи є попередня ідентифікація зон тектонічних і техногенних порушень за допомогою методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі, та вибір методу локалізації джерела небезпеки на ранніх етапах. В подальшому інтеграція підсистем контролю газового складу, гідродинамічного впливу на масив та утилізації низькопотенційного тепла дозволяє створити стійку систему життєзабезпечення, здатну попереджати катастрофічні наслідки.

Впровадження передових алгоритмів адаптивного керування є економічно виправданим кроком, який суттєво підвищує надійність функціонування гірничих підприємств та мінімізує витрати на ліквідацію можливих аварій.

Література

1. Zmiyevskaya K. Faults and linear crusts of weathering as a gold-controlling factor // Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining, New developments in mining engineering. – 2015. - P. 415-417.

2 Управління аерологічними та геомеханічними процесами у вугільних шахтах. Булат А.Ф., Софійський К.К., Бокій Б.В., Шейко А.В., Агаєв Р.А., Тиніна С.В. Маріуполь, ТОВ "Східний видавничий дім", 2016. 300с.

3. Стасевич Р. К. Методика підвищення точності обліку та функції захисту інформації автоматизованої системи комерційного обліку природного газу вугільних родовищ (АСУ ПГ) / Математичне моделювання: Науковий журнал ДДТУ. Кам’янське: ДДТУ. 2017. № 1 (36). С. 16-22.

4. Acoustic Monitoring of the Coal-Rock Massif State in Stress-Strain Zones during Hydroimpulsive Impact: Application Experience. Chapter of monography “Acoustical Engineering”/ V. Zberovskyi, R. Ahaiev, V. Vlasenko, M. Kyrychenko// IntechOpen, 2025. DOI: 10.5772/intechopen.1006643.

МОДЕЛІ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУ У СИСТЕМІ ЕКОГЕОДИНАМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ УКІСНИХ СПОРУД ХВОСТОСХОВИЩ

Молодший науковий співробітник Рябко А.І.,
провідний інженер Мінко О.Ю.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Оцінка та прогнози функціонування укісних споруд хвостосховищ в системі екогеодинамічного моніторингу є інструментами підтримки прийняття рішень, спрямованими на виявлення, оцінку, прогнозування та пом'якшення екологічних наслідків пропозицій в області експлуатації розвитку, ліквідації, що використовуються до ухвалення важливих рішень та упродовж усього життєвого циклу об'єкту. Оцінки повинні враховувати хронічні та кумулятивні, а також раптові та гострі впливи. Хоча дослідження, як правило, зосереджені на одному об'єкті, оцінки впливу можуть проводитися на ландшафтному рівні та враховувати стратегічні екологічні, економічні та соціальні питання. Залежно від контексту, обставин та питань, що розглядаються дослідження оцінки впливу можуть бути самостійними або проводитися у вигляді комплексного набору досліджень. У стандартах підвищення безпеки хвостосховищ на різних етапах його функціонування вказується, що для обгрунтування надійності та безпеки гідротехнічних споруд слід: виконувати розрахунки напружено-деформованого стану системи "споруда - основа", а також гідравлічного, фільтраційного та температурного режимів, на основі застосування сучасних, головним чином чисельних, методів механіки суцільного середовища з урахуванням реальних властивостей матеріалів та порід основи; застосовувати коефіцієнти міцності, що враховують мінливість та невизначеність геологічних, будівельних матеріалів та даних про їх властивості, підходу до вибору параметрів, міцності при зсуві залежно від часу та умов навантаження, чутливість аварійних режимів, а також питання сумісності напружень та якість впровадження систем управління ризиками [1,2].

Теоретичний аналіз наслідків, вивчення питань економічної оцінки збитку та створення на базі цих досліджень методичних основ визначення ефективності інвестицій у екогеодинамічний моніторинг та захисні заходи неможливі без знання процесів зміни напружено-деформованого стану та стійкості укісних масивів. Прогностична модель системи моніторингу повинна забезпечувати проведення усіх видів прогнозів стійкості укісних систем хвостосховищ: перспективного, довгострокового, короткострокового та оперативного.

Створення єдиної моделі, що досить добре прогнозує за сталих умов та активних процесів в природно-техногенному довкіллі - завдання надзвичайно складне, тому в системі моніторингу може бути використана складена прогностична модель заснована на наборі певних модулів - системи моделей. Модулі можуть використовуватися як окремо, так і в сукупності залежно від завчасності прогнозу та складності екзогенних природно-техногенних процесів.

Складена прогностична модель повинна включати наступні модулі:

емпіричну модель у якості попередньої; емпірико-статистичну модель - для оперативного прогнозу; статистичні моделі - для короткострокового прогнозу у період встановлення природно-техногенних екзогенних процесів, а також для перспективного та довгострокового прогнозів; моделі суцільного середовища - для короткострокового прогнозу в період протікання найбільш складних природно-техногенних екзогенних процесів, а також для тривалих прогнозів на основі частотного розподілу параметрів певних класів стабільності, які не стільки прогнозуються, скільки постулюються заздалегідь. Необхідно відмітити, що наявність множинних даних що надаються оперативним екогеодинамічним моніторингом обумовлює застосування переважно статистичних методів та моделей оцінки та прогнозу.

В умовах неможливості побудови мережі станцій безперервного автоматичного контролю або здійснення спостережень з необхідною періодичністю особливого значення набувають моделі прогнозування стану укісних засновані на фундаментальних положеннях теорій граничної рівноваги, твердого деформованого тіла, механіки суцільного середовища.

Кількісне прогнозування деформаційної небезпеки складається з двох підкласів методів : 1) детерміновані; 2) імовірнісні.

До підкласу детермінованих методів відносяться наступні групи: методи оцінки прояву зсувних процесів; методи аналогій. Нижче приведені деякі методи для одного з найбільш поширених видів деформаційних процесів - зсувних явищ.

Методи оцінки прояву зсувних процесів складаються з двох підгруп: поширеність; часова мінливість. Поширеність характеризується коефіцієнтами лінійної, площової та частотної ураженості, що мають схожу структуру. Зокрема, коефіцієнт лінійної ураженості розраховують по формулі

$$K_L = \frac{l}{L}, \quad (1)$$

Часова мінливість характеризується показником активізації зсувного процесу (аналог прискорення). Розраховується такий показник по наступній формулі

$$a = (V_2 - V_1) / t, \quad (2)$$

де V_1 – швидкість руху зсуву за минулий рік; V_2 – швидкість руху зсуву у поточному році; t – проміжок часу між замірами швидкості зсувного процесу; a – активізація зсувного процесу.

Використовуючи дані спостережень за небезпечними явищами на укісних системах та результати геодезичного моделювання можна побудувати моделі засновані на стохастичних принципах.

До методів прогнозування зсувної небезпеки, засновані на статистичному підході, відносяться методи: геодинамічного потенціалу; регресійного аналізу;

аналізу ритмічності; статистичний аналіз чинників зсувоутворення; багатовимірна статистика.

Метод регресійного аналізу включає визначення статистичних залежностей якогось показника від можливих кількісних параметрів впливу чинників зсувоутворення та, у результаті, отримання регресійного рівнянь першого та другого ступеня.

Прості моделі регресії мають загальний вигляд

$$Y_{it} = f(Z_{kt}, u_t), \quad (3)$$

де Y_{it} - *i-а* ендогенна змінна в момент часу *t;* Z_{kt} - *k*- а екзогенна змінна у момент *t;* u_t - помилка спостереження у момент *t.*

Методи математичного моделювання передбачають побудову математичних моделей досліджуваних зсувних процесів [3,4]. При прогнозуванні зсувної небезпеки вирішують дві головні проблеми: 1) оцінка стійкості схилів, заснована на теорії граничної рівноваги; 2) динаміки розвитку зсувного процесу.

Останнім часом у зв'язку з впровадженням в практику розрахунків стійкості схилів спеціальних програмних продуктів, в основі яких покладені чисельні методи аналізу, методи математичного моделювання зсувних процесів стають, усе більш затребувані. Програмні продукти, засновані на механіці суцільного середовища, отримали найбільший розвиток. При цьому використовуються програми, які засновані на методі кінцевих елементів PHASE, GEOSTUDIO, GEO5, PLAXIS та ін. Цей метод є основним чисельним методом рішення завдань механіки суцільного середовища.

Екогеодинамічний моніторинг з оцінкою та прогнозом стану укісних споруджень та показників стабільності зони розміщення хвостосховищ необхідно здійснювати на кожному етапі життєвого циклу об'єкту з урахуванням особливостей періоду існування та функціонування.

Література

1. Zare, M., Nasategay, F., Gomez, J. A., Moayedi Far, A., & Sattarvand, J. (2024). A review of tailings dam safety monitoring guidelines and systems. *Minerals, 14*(6), 551. https://doi.org/10.3390/min14060551. (Accessed 05 February 2026).
2. Nasrat Adamo, Nadhir Al-Ansari, Sissakian, V., Laue, J. and Knutsson, S. (2021) Dam Safety: Monitoring of Tailings Dams and Safety Reviews. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 249-289. https://doi.org/10.47260/jesge/1117. (Accessed 05 February 2026).
3. Palmer, J. (2019). Anatomy of a tailings dam failure and a caution for the future. Engineering (Beijing), 5(4), 410–419. https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.07.009. (Accessed 19 January 2026).
4. Рябко, А. І. (2024). Визначення модельних функціональних залежностей оптимізації та управління екобезпекою укісних споруд хвостосховищ. Виклики та проблеми сучасної науки, 2, 461–466. https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/143. (Дата звернення:19.01.2026).

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРОЦЕСУ СЕЛЕКТИВНОГО КАТАЛІТИЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ НА АЛЮМОМІДНОЦИНКОВОМУ КАТАЛІЗАТОРІ

Д.т.н., с.н.с Зберовський В.В., д.т.н., доцент Стасевич Р.К.,
к.т.н., с.д. Власенко В.В., інж. Пазиніч А.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Виробництво азотної кислоти є важливою ланкою різних промислових процесів виробництва: мінеральних добрив (аміачна селітра, карбамідо-аміачні суміші та інш.), вибухових речовин (тротил, нітрогліцерин), ракетного палива (меланж), барвників, пластмас та штучних волокон також при виробництві електроніки та у металургії. Незважаючи на те що технологія отримання азотної кислоти має столітню історію, виготовлення досі супроводжується значними екологічними ризиками. Основними забруднювачами спрацьованих газів є оксиди азоту NO_x (переважно суміш NO та NO_2).

В умовах посилення глобального екологічного законодавства, зокрема Директиви ЄС про промислові викиди, норми концентрації оксидів азоту у хвостових газах виробництва азотної кислоти становлять 10–154 мг/м³ для нових заводів та 10–185 мг/м³ для існуючих потужностей [1]. Для енергетичних комплексів, що спалюють вуглеводневе паливо ці норми ще жорсткіші, зокрема відповідно до Директиви ЄС про промислові викиди та Готенбурзького протоколу значення наближаються до рівнів 50 мг/м³ для нових газових турбін на природньому газі [2].

На сьогодні найбільше поширення набули методи селективного каталітичного відновлення (СКВ) з використанням аміаку або сечовини у якості відновника. Одна з проблем СКВ з використанням аміаку є проблема так званого «прослизання аміаку». У прагненні досягти глибокого очищення у реактор подають надлишок аміаку, який, не прореагувавши, потрапляє в атмосферу, створюючи нову екологічну проблему.

З метою підвищення екологічності процесу виробництва азотної кислоти було проведено лабораторні дослідження процесу СКВ оксидів азоту аміаком на алюмомідноцинковому каталізаторі. Дослідження торкнулися хімічного складу каталізатора, температури процесу СКВ та об’ємного співвідношення аміаку до оксидів азоту в газовій суміші перед шаром каталізатора. За результатами лабораторних досліджень подано заявку та отримано патент на корисну модель на спосіб очищення спрацьованих газів виробництва азотної кислоти [3].

Одним з найважливіших аспектів способу є температурний режим перебігу процесу СКВ. Встановлено, що підвищення температури процесу до 340–350°С підвищує ефективність конверсії NO_x та дозволяє уникнути «прослизання» аміаку (рис. 1). Для порівняння низькотемпературне СКВ з використанням традиційних ванадієвих або мідних каталізаторів відбувається при температурах 200-280°С. За таких умов маємо високу швидкість реакції $NO + NH_3$ але кінетика окиснення аміаку киснем відбувається надто повільно. Це дозволяє ефективно відновлювати NO_x, але будь-який надлишок аміаку «прослизає» через шар каталізатора.

Рис. 1

Підвищення температури дозволяє підвищити ефективність конверсії NO_x але при температурах вище 400 °C на алюмомідноцинковому каталізаторі зростає інтенсивність паразитного окиснення аміаку з утворенням NO_x та N_2O, що може призводити до вторинного забруднення і зниження ефективності процесу. Лабораторно встановлено, що у температурному інтервалі 340–350°C досягається оптимальний баланс, за якого аміак ефективно відновлює NO_x до азоту, а його «прослизання» наближається до нуля.

Температура процесу має безпосередній вплив не лише на протікання хімічних процесів але й на сам каталізатор. Досліджуваний каталізатор має скоринкову структуру отже є відносно крихким та схильним до спікання. Саме тому важливе співвідношення оксидів цинку та міді. Частинки ZnO фізично розділяють кластери оксиду міді, запобігаючи їх спіканню (агломерації) під час високотемпературної обробки та експлуатації. Це критично важливо при 350°C, оскільки чистий оксид міді схильний до втрати активної поверхні.

Висновки.

1. В результаті очищення вдалося досягти ступеня очищення вихідної газової суміші від NO_x на рівні 99,8-99,9 %. Концентрація NO_x в очищеному газі становить 2-5 мг/м³, що відповідає значенню 0,0001-0,0002 % об. та є значно нижчим за нормативні вимоги - 103 мг/м^3 або 0,005 % об.

2. За рахунок підвищення температури спрацьованих газів перед реактором до 350°C вдалося уникнути ефекту «прослизання» аміаку, що є необхідною речовиною в процесі селективного каталітичного очищення спрацьованих газів від оксидів азоту.

Література

1. ECE/EB.AIR/117. Guidance document on control techniques for emissions of sulphur, nitrogen oxides, volatile organic compounds and particulate matter (including PM_{10}, $PM_{2.5}$ and black carbon) from stationary sources. united nations economic commission for europe, executive body for the convention on long-range transboundary air pollution. – Geneva : United Nations, 2015. – 264 p.
2. Directive (EU) 2015/2193 of the european parliament and of the council of 25 november 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants // Official Journal of the European Union. – 2015. – vol. L 313. – 19 p.
3. Патент160369 Україна, МПК B01D 53/00. Спосіб очищення спрацьованих газів виробництв азотної кислоти / Стасевич Р.К., Жигайло Б.Д., Зберовський В.В., Вайло І.Р. (Україна); заявник та патентовласник Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. — № u 2025 03412; заявл. 26.11.2024; опубл. 03.09.2025, Бюл. № 36.

MODERN TECHNOLOGIES FOR MONITORING OF TAILINGS STORAGE FACILITIES TAKING INTO ACCOUNT OF MULTILEVEL METHODS

Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Fellow Ostapenko N.,
Senior Engineers: Kyrychenko V., Bondarenko L., Kryuchkova S.
M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Analysis of the current state of the solved scientific and technical problem of organizing monitoring of the tailings storage area shows that monitoring of hydro technical structures requires systematic and operational collection of information on the parameters of their condition in order to identify trends in their changes. Technologies for monitoring the hydro geomechanical condition of hydro technical structures (HTS) should be based on a comprehensive consideration of natural conditions, as well as on multilevel regime observations that correlate with the earth's surface and implement a hierarchical approach (Fig. 1).

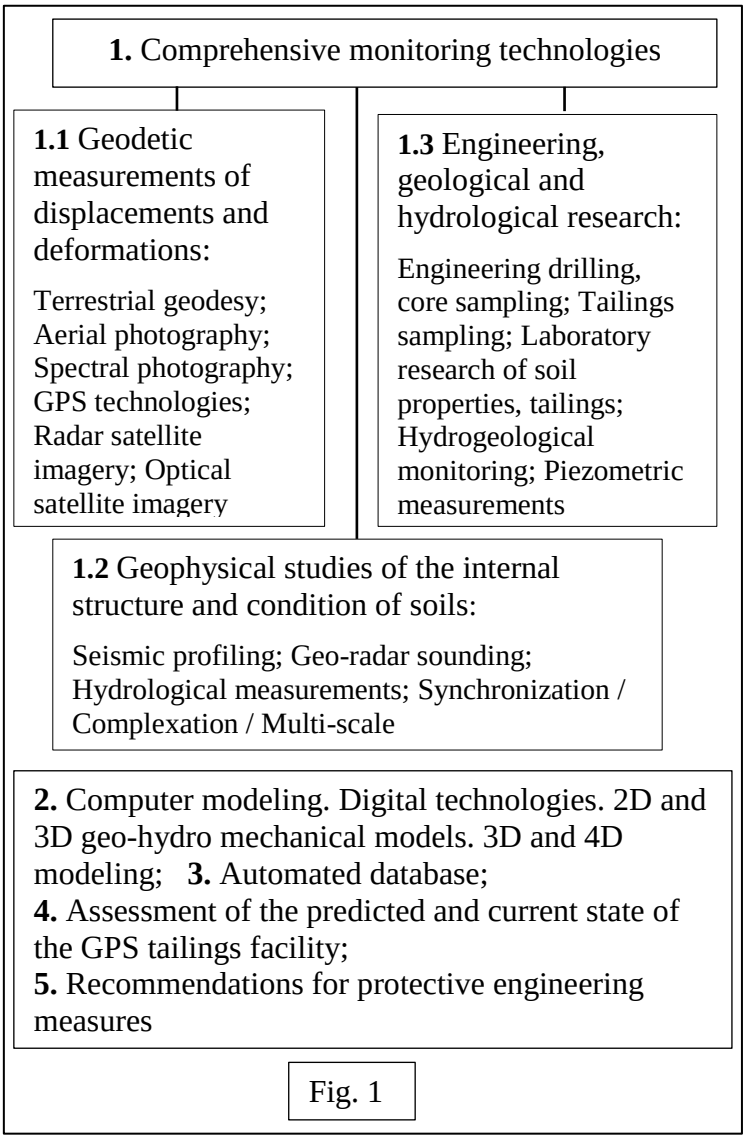


Fig. 1

Modern technologies of monitoring involve, in addition to traditional field surveys, the use of aerial and space imagery, as well as the integration of several methods, including inter disciplinary ones.

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) photography is suitable for monitoring relatively small areas in order to obtain orthophoto maps and solve geodesy and topography problems, when monitoring emergencies and eliminating their consequences. Recently, satellite systems for Remote Sensing of the Earth (RS) are actively developed.

For example, one of the problems concerns the emergence (invisible, undetected) of dangerous filtration-deformation processes that occur in unstable and heterogeneous zones of subsurface soils, which are not initially visualized in ground observations. The hydro

geological regime at the location of the tailings ponds may deteriorate due to the high level of natural groundwater and constant water-saturated storage of mineral processing waste. First of all, this may lead to the formation of increased pore water pressure in the soils of all hydraulic structures of the tailings pond.

As a result, the effective stress in the soil is low, therefore, for reliable operation of the tailings pond and to ensure the stability of the dam, periods of time must be adopted during which intermediate compaction of the soil occurs due to their consolidation [1, 2]. Because of consolidation and compaction of the soil, excess pore water pressure is dissipated and is reduced, and the soil can acquire a "skeletal" stiffness, which provides the shear strength necessary for the operation of the dam. The integration of such methods and tools in monitoring will provide a multi-scale effect: from microparticles, grains, skeleton to individual structures and the hydraulic system as a whole. The manifestations of these processes can be recorded at an early stage only with the use of technologies of various scales and at different levels, which allow controlling the entire HTS as a whole and the geotechnical systems associated with it. For these purposes, complex approaches to conducting multilevel research and monitoring are necessary.

In general, the following monitoring technologies can be presented:

1) Of the *subsurface level* − such as the hydro technical measurements, piezo metric and well recordings, georadar sub contour scanning, seismic tomography, georadar sounding, micro seismic profiling, water level measurements in piezometers, observation hydrogeological wells, in ponds, reservoirs;

2) Of the *surface level* − visual observations, photo fixation and ground geodetic measurements and photography, laser and radar surface scanning;

3) Of the *above-surface level* − photo, thermal and radar aerial photography using UAVs;

4) Of the *remote level* − GPS geodesy, optical spectral and radar images of spacecraft;

5) Of the *computer level* − 3D models, geomechanical, hydrodynamic and filtration-deformation modeling, consolidation [1, 2].

The application of technologies for monitoring tailings facilities during operation and after their closure has a common goal of ensuring the environmental and technogenic safety of the facility, but differs significantly in priority areas and spatial and temporal tasks. The main tasks of this period include: *detection and prevention at early stages of degradation processes* (erosion, dust formation, filtration and migration of pollutants, formation of acid drainages), *monitoring the effectiveness of remediation*, and confirming the achievement of previously established criteria for successful closure. In the long term, monitoring data can be used to assess the stability of the tailings facility in the geotechnical system and confirm its environmental safety.

References

1. Tailings info (2018). Tailings Related Accidents-Failures. Breaches and Mudflows. URL: https://www.tailings.info/

2. A Comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History / Z. Lyu, J. Chai, Z. Xu [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2019, Article ID 4159306. URL: https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/4159306/

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РУХУ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛАСТИЧНОГО КАРТКОВОГО СИТА ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА

Доцент Кононов Д.О., студент гр. МБ01-22т Ваганов С.В.
Дніпровський металургійний інститут
Українського державного університету науки і технологій

Грохочення є однією з ключових операцій при переробці сипких матеріалів. Ефективність цього процесу безпосередньо залежить від конструкції просіювальних поверхонь, які повинні забезпечувати [1, 2].

1. Високу ефективність класифікації в різних умовах.
2. Довговічність та стабільність розмірів просіючих отворів (щілин), щоб уникнути небажаного закрупнення або подрібнення матеріалу розрахункової крупності

Цим вимогам відповідають конструкції динамічно-активних просіючих поверхнь. Їх особливістю є наявність спеціальних зон, що забезпечують інтенсивне та селективне просіювання. Це дозволяє суттєво поліпшити якість розділення мінеральної сировини на фракції.

Інноваційна еластична просіюча поверхня була розроблена на кафедрі галузевого машинобудування УДУНТ [1]. Її переваги ґрунтуються на поєднанні еластичності полімерного матеріалу з міцністю металевої основи, що забезпечує:

- Підвищену стійкість до абразивного зношування та ударних навантажень.
- Зменшення шуму та вібрацій під час роботи.
- Збереження стабільності розмірів отворів протягом усього терміну служби, що є ключовим для підтримки стабільного фракційного складу продукту.

Загальний вид конструкції гумо-металевої колосниково-карткової поверхні, що просіює, представлено на рис. 1.

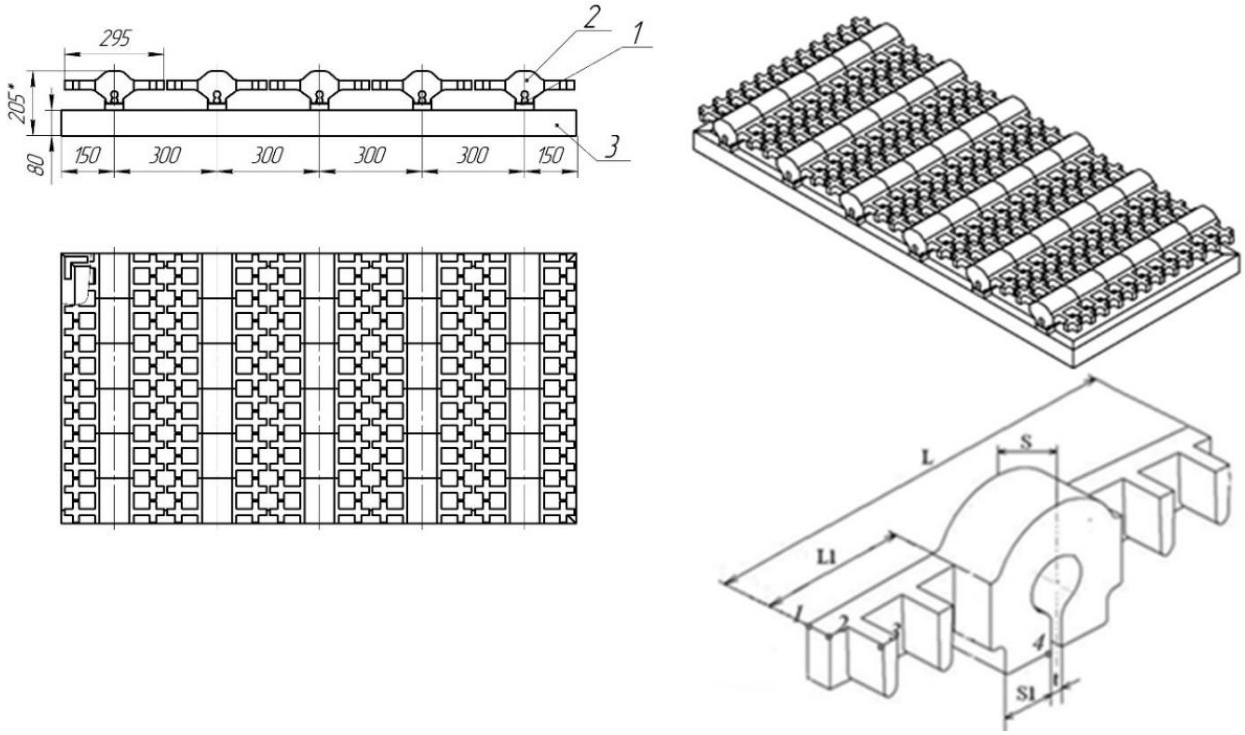


Рис. 1.

Основу нової динамічно-активної поверхні складають еластичні карткові елементи 2. Вони монтуються на подовжні металеві колосникові опори 1 шляхом щільного «насадження». Завдяки своїм пружним властивостям, кожен елемент щільно обхоплює опору своєю крізною порожниною, створюючи необхідний натяг. Додаткова фіксація забезпечується спеціальним профілем самої опори, що виключає самовільне зміщення або обертання елементів під час роботи.

Головною перевагою даної конструкції є її подвійна функція:

1. Формування просіювальної поверхні з заданими розмірами щілин.
2. Захист (футерування) несучої металевої опори від прямого абразивного зносу.

Незважаючи на очевидні конструктивні переваги, на сьогодні відсутні верифіковані методики розрахунку кінематичних параметрів роботи такого еластичного сита.

Приймемо, що точки короба грохоту здійснюють лінійні коливання за гармонійним законом із постійною амплітудою.

$$x(t) = a \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

де a - амплітуда коливань , м; ω - циклічна (кругова) частота коливань грохоту (вібратора), рад/с.

Для дослідження напружено-деформованого стану конструкції було проведено скінченно-елементне моделювання. Розв'язання задачі виконано у програмному комплексі *PrePoMax*, який виконує функції пре- та постпроцесора для вирішувача *Calculix* [3, 4].

На рис. 2 показано загальний вид скінчено-елементної моделі.

В результаті рішення отримуємо кінематичні характеристики руху точок елемента сита: переміщення, швидкість та прискорення.

Далі наведені результати моделювання для випадку коливань з наступними параметрами: $a = 0,0025\,м = 2,5\,мм$, частота $\omega = 24,5\,Гц = 157\,рад/с$, що відповідає частоті обертання валу вібратора 1470 об/хв. Крок інтегрування $\Delta T = 0,0001$ с.

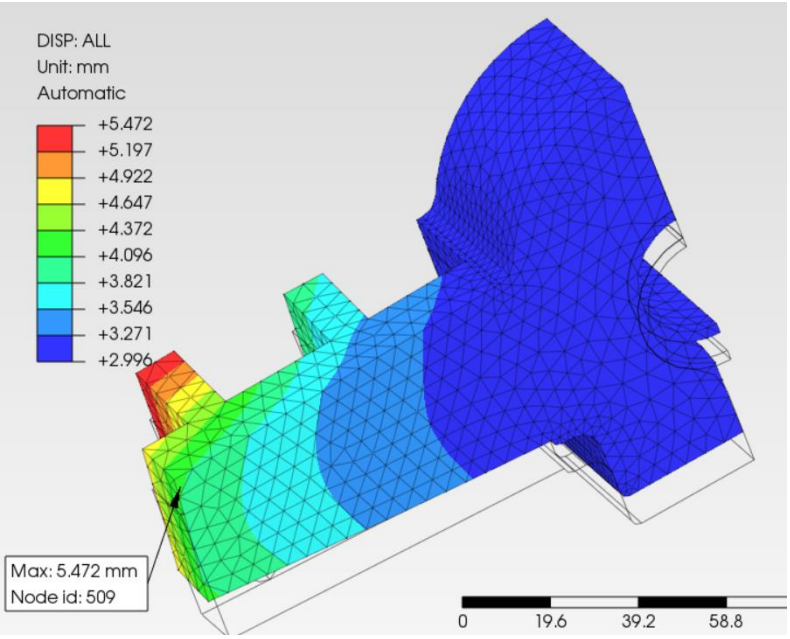


Рис. 2.

На рис. 3 показані деякі отримані кінематичні залежності за різних методів рішення для характерних точок еластичного елемента 1, 2, 3 та 4 (рис. 1).

З графіків можна дійти висновку, що швидкості і переміщення точок 1, 2 і трьох елемента сита грохоту відбуваються практично однаково.

Загальне збільшення амплітуди коливання точки

1 порівняно з амплітудою короба грохоту становить приблизно 45%. Аналогічна тенденція спостерігається і для інших точок.

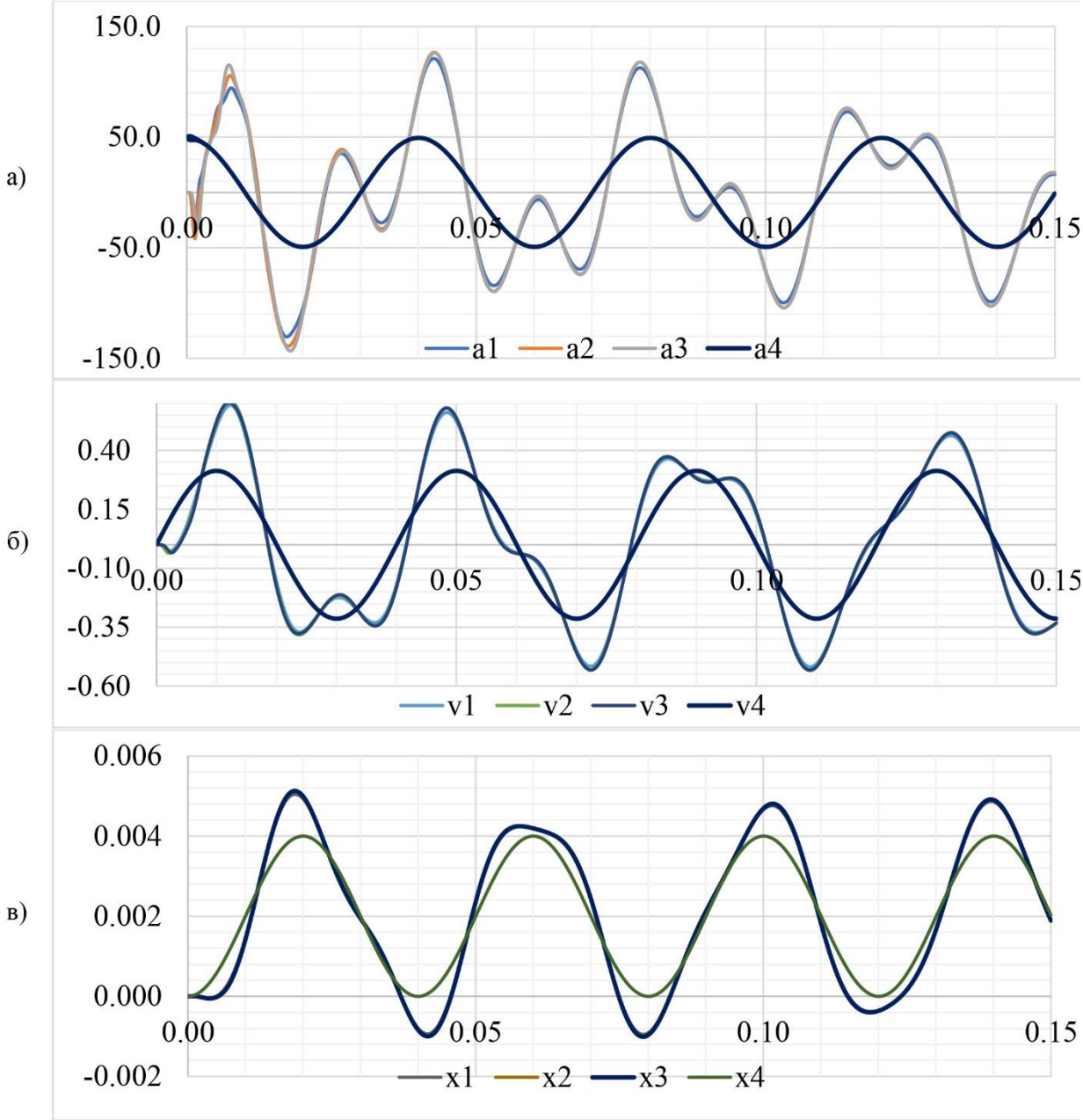


Рис. 3: а) прискорення, м/с^2; б) швидкість, м/с; б) переміщення, м

Література

1. Удосконалення обладнання та процесів вуглепідготовки і коксосортування металургійного виробництва: монографія /Засельський В. Й., Пополов Д. В., Зайцев Г. Л., Білодіденко С. В., Кононов Д. О., Пелих І. В. Кривий Ріг: Р. А. Козлов, 2019. – 203 с.
2. Булат А.Ф., Дирда В.І., Пухальський В.Н., Лисиця М.І. Розробка та створення вібраційної техніки з використанням еластомерів для видобутку, переробки і збагачення мінеральної сировини/ Геотехнічна механіка. 2018. № 138.
3. https://www.calculix.de/
4. https://prepomax.fs.um.si/

ДО ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ ІМПЕДАНСУ РУКИ ОПЕРАТОРА ПРИ РОБОТІ З МЕХАНІЗОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Доктор фіз-мат. наук, професор Пасічник А. М.
Дніпровський державний технічний університет

При проведенні механізації виробничих процесів сучасного виробництва важливу роль відіграють механізовані інструменти. Переважна більшість таких інструментів в робочому стані є джерелом достатньо інтенсивної вібрації яка передається на руки людини-оператора. Для зменшення шкідливого впливу вібрацій застосовуються різні засоби їх гасіння, ефективність використання яких базується на наявності механічних (вібраційних) характеристик руки оператора. Тому удосконалення методів моделювання та розрахунку механічних характеристик руки оператора має достатньо актуальне значення

В якості такої характеристики прийнято використовувати механічний вхідний імпеданс руки оператора який визначається відношенням сили, прикладеної до руки, до швидкості її переміщення у відповідному напрямку:

$$Z(\omega)=F(\omega)/v(\omega), \tag{1}$$

де: $F(\omega)$ – гармонійна сила, $v(\omega)$ – швидкість переміщення.

Для розрахунку імпедансу руки оператора застосовується математична модель механічних коливань маси із пружним закріпленням та демпфуванням, яка описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$m\frac{d^2x(t)}{dt^2} + b\frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t), \tag{2}$$

де: m – маса руки оператора (кг); b – коефіцієнт демпфування (Н·с/м); k – пружність (Н/м); $x(t)$ – зміщення руки в момент часу (t); $F(t)$ – зовнішня сила, що діє на руку з боку інструменту.

Початкові умови для задачі (1) визначаються так:

$$x(0)= x_{00},\ \mathrm{d}x(0)/\mathrm{d}t = v_0(0), \tag{3}$$

Для нульових початкових умов (4) розв'язок запишеться так:

$$x(t) = X\sin(\omega t - \varphi), \tag{4}$$

де: $X = F_0/\sqrt{(k - m\,\omega^2)^2 + (b\omega)^2}$ – амплітуда переміщення;

$\varphi = arc\,tg\,\frac{b}{\omega k - m\,\omega^2}$ – фазове зміщення.

Відповідно швидкість і прискорення визначаються так:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \omega X\cos(\omega t - \varphi);\quad w(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 X\sin(\omega t - \varphi). \tag{5}$$

У відповідності з отриманим розв'язком імпеданс в частотній області буде визначатися так:

$$Z(j\omega) = b + j\,m\,\omega - i\,k/\omega, \tag{6}$$

де : Re (Z)=b – відповідає втратам енергії (демпфування), а Im (Z)= $m\omega$–k/ω – відповідає реактивним компонентам реакції (інерція та пружність).

Таким чином при сталому демпфування (b =const) та низьких частотах ($\omega\to 0$): імпеданс в основному визначається пружністю (k/ω), а при високих частотах ($\omega\to\infty$): імпеданс в основному визначається масою m.

ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРИРОДОУЗГОДЖЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ ЗЕМЛЯХ

Д-р техн. наук, с.н.с. Медведєва О.О., аспірантка Гальченко З.С.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Природоузгоджені технології передбачають впровадження технічних рішень і виробничих процесів, що мінімізують антропогенне навантаження на довкілля, забезпечують ресурсоефективність та гармонійне співіснування техносфери з біосферою. Вітроенергетичні установки (ВЕУ) є яскравим прикладом таких технологій, оскільки вони використовують невичерпний природний ресурс – вітер – і не спричиняють викидів забруднюючих речовин.

У сучасних умовах війни та післявоєнного відновлення України пріоритет надається швидким, локальним, ефективним і недорогим рішенням енергопостачання, що підвищують стійкість енергосистеми та її незалежність від централізованих джерел.

Децентралізовані джерела генерації, зокрема ВЕУ, сприяють підвищенню енергетичної безпеки та гнучкості системи в кризових ситуаціях [1-3].

Україна має великий потенціал для розвитку вітроенергетики, незважаючи на повномасштабну війну:

– поточна інстальована потужність вітрової енергетики в Україні становить близько ~2,3 ГВт, хоча значна частина цих потужностей знаходиться на тимчасово окупованих територіях.

– за планами до 2030 року передбачено значне збільшення потужностей: 6,1 ГВт наземної та 0,1 ГВт морської вітроенергетики.

Розміщення вітроенергетичних установок на техногенно порушених землях гірничодобувних регіонів є економічно і екологічно доцільним:

– такі землі, значною мірою непридатні для сільського господарства чи забудови, можуть бути використані для встановлення ВЕУ без конфлікту з іншими видами землекористування;

– вітроенергетика на техногенних майданчиках забезпечує ефективне використання територій, зменшуючи антропогенне навантаження на навколишнє середовище;

– вітрові установки сприяють зміцненню енергетичної безпеки в масштабі країни і регіону.

Застосування ВЕУ забезпечує модульну, розосереджену генерацію електроенергії, що зменшує вразливість інфраструктури до ракетних обстрілів, націлених на ушкодження енергетичних об’єктів, що спричиняє руйнування, зниження генерації та відключення від енергоспоживання споживачів.

Нові законодавчі й регуляторні кроки сприяють прозорішому доступу до мережі та стимулюють інвестиції в «зелені» потужності.

Економічні й технологічні переваги вітроенергетичних установок:

– вони мають низьку собівартість виробництва електроенергії порівняно з традиційними джерелами і не залежать від коливань цін на викопне паливо;

– ВЕУ можуть бути встановлені без значних капітальних витрат на паливну інфраструктуру, що особливо важливо в умовах обмеженого фінансування під час війни.

Технічний потенціал гірничодобувних земель для вітроенергетики досить високий. Підвищення висоти встановлення вітротурбін на техногенних об'єктах, таких як породні відвали та кар'єри, дозволяє отримувати більшу швидкість вітру і відповідно – вищу продуктивність генерації. За даними аналізу, проведеного авторами, вертикально-осьові ВЕУ ефективніші в умовах низьких і помірних швидкостей вітру.

Техногенно порушені землі гірничодобувних регіонів, зокрема Криворізького гірничодобувного басейну, мають значний потенціал для розміщення вітроенергетичних установок, оскільки ці території обмежено придатні для сільськогосподарського або житлового використання [1-3].

Відвали розкривних порід і борти відпрацьованих кар'єрів є перспективними майданчиками для ВЕУ завдяки підвищеним відміткам рельєфу, що забезпечує зростання швидкості вітру та, відповідно, вітроенергетичного потенціалу.

Розрахунки вітрового потенціалу для умов м. Кривий Ріг свідчать про доцільність використання вертикально-осьових вітроенергетичних установок, які ефективно працюють на низьких швидкостях вітру та мають меншу стартову швидкість обертання [3].

Вертикально-осьові ВЕУ демонструють суттєве зростання енергетичної ефективності зі збільшенням висоти встановлення та забезпечують стабільніше виробництво електроенергії порівняно з горизонтально-осьовими аналогами в умовах помірного вітрового режиму [3].

Таким чином, інтеграція вітроенергетичних установок у структуру гірничодобувних підприємств сприяє формуванню замкнених енергетичних циклів і підвищує автономність промислових об'єктів. Використання ВЕУ на порушених землях відповідає принципам сталого розвитку, оскільки поєднує енергетичну доцільність із екологічною реабілітацією територій. Застосування вітроенергетики як елемента природоузгоджених технологій у гірничодобувних регіонах може стати важливим чинником екологічної стабілізації, економічного відновлення та підвищення енергетичної незалежності України.

Література

1. Olha Medvedieva, Zariana Halchenko, Serhii Tynyna, Yevhen Kulak, Oleksandr Kushch. Use of Environmentally Friendly Technologies at Kryvbas Mining and Processing Plants under Martial Law. Advances in Science and Technology. 2026. Volume 172. PP. 67-74. DOI: https://doi.org/10.4028/p-Q4SnBR.

2. Olha Medvedieva, Zariana Halchenko, Oleksii Demchenko. Development of renewable energy in Ukraine, current state and possible solutions. Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials. 2025. Volume 6. PP. 58-65. DOI: https://doi.org/10.58903/dw18921267.

3. O.O. Medvedieva, H.I. Larionov and Z.C. Halchenko. To the selection of technology parameters for the use of renewable energy sources on man-made disturbed lands. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. Vol. 1319(1). P. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/1319/1/012011.

АВАРІЇ НА ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТАХ УКРАЇНИ: ПРИЧИНИ, НАСЛІДКИ, ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЯМ

Д-р техн. наук, с.н.с. Медведєва О.О., інженер І кат. Чумак Л.В., аспірант Піцик О.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Хвостосховище – це складна інженерно-гідротехнічна споруда, призначена для накопичення, зберігання або поховання відходів гірничо-збагачувального виробництва, що можуть містити токсичні, радіоактивні та інші екологічно небезпечні компоненти. Такі споруди можуть формуватися як у межах природно сформованих пониженнях рельєфу місцевості, так і шляхом створення штучних гідротехнічних конструкцій. Відходи збагачення корисних копалин (хвости) зазвичай являють собою водно-мінеральну суміш, до складу якої входять тонкодисперсні та уламкові фракції гірських порід, вода, а також залишкові концентрації металів і супутніх хімічних елементів [1].

Хвости є побічним продуктом діяльності підприємств різних видобувних галузей промисловості, зокрема з видобутку та переробки залізної руди, алюмінієвої сировини, вугілля, нафтоносних пісків, уранових руд, а також дорогоцінних і кольорових металів. Вони не є простими залишками гірських порід, а становлять собою складну багатокомпонентну суміш, сформовану внаслідок технологічних процесів вилучення корисних мінералів з рудної сировини. На відміну від розкривних і порожніх порід, які видаляються на початкових етапах видобутку для забезпечення доступу до руди, хвости є переробленими відходами, що залишаються після відокремлення цінних компонентів. У їх складі можуть зберігатися залишкові концентрації технологічних реагентів, зокрема сірчаної кислоти, ціанідів, а також інших хімічних сполук, включно з побічними продуктами нафтопереробки, які використовуються або утворюються в процесі екстракції.

Формування хвостів є багатоетапним технологічним процесом, що включає послідовні стадії механічної та фізико-хімічної обробки рудної сировини. На початковому етапі здійснюється дроблення та подрібнення руди до необхідної дисперсності, після чого за допомогою хімічних і фізико-хімічних методів відбувається відокремлення цінних мінеральних компонентів від пустої породи. У результаті цих процесів утворюються значні обсяги відходів збагачення – хвостів, які потребують науково обґрунтованих підходів до поводження, накопичення та зберігання з метою мінімізації їх негативного впливу на компоненти навколишнього природного середовища [3].

Хвостосховища є дуже небезпечними техногенними об'єктами на гірничих підприємствах. Переважна частина хвостосховищ належить до застарілих інженерних споруд, зведених без урахування сучасних нормативних вимог і принципів безпеки, а також таких, експлуатація яких упродовж тривалого часу здійснювалася за умов недостатнього технічного контролю. За таких обставин навіть незначні відмови окремих елементів або порушення регламентів експлуатації можуть призвести до виникнення техногенних аварій. Додатковими чинниками ризику є зовнішні впливи, зокрема екстремальні

природні явища – паводки, інтенсивні атмосферні опади та інші гідрометеорологічні процеси.

Аварії на техногенних об'єктах, зокрема на хвостосховищах, належать до масштабних промислових катастроф, що супроводжуються руйнуванням гідротехнічних споруд і неконтрольованим вивільненням у навколишнє природне середовище значних обсягів токсичних відходів. Світова практика фіксує низку резонансних аварій, зокрема в Італії (1985 р.), Румунії (2000 р.), Угорщині (2010 р.) та Бразилії (2019 р.), які мали тяжкі екологічні, соціальні та економічні наслідки. Подібні події призводять до масштабного забруднення природних компонентів, поширення забруднювальних речовин на значні відстані за межі зони аварії, спричиняють затоплення територій, руйнування виробничої та соціальної інфраструктури, а також створюють пряму загрозу здоров'ю та життю населення [2].

На жаль, таке лихо траплялося й у багатьох інших країнах. Україна – не виняток.

14 вересня 1983 року в місті Стебник Львівської області на гірничо-хімічному підприємстві «Полімінерал» унаслідок інтенсивних атмосферних опадів відбулося руйнування дамби хвостосховища. Аварія супроводжувалася формуванням потужного селевого потоку загальною масою понад 5 млн тонн, який призвів до масштабного забруднення прилеглих сільськогосподарських угідь, садів і лісових масивів. Висококонцентрована ропа разом із твердими відходами збагачення надійшла у водну мережу, зокрема в річку Солоницю, далі – у Тисменицю та Дністер, з подальшим поширенням забруднювальних речовин до акваторії Чорного моря, що зумовило транскордонний характер екологічних наслідків аварії.

Подібні техногенні аварії фіксувалися в Україні й у подальші роки. Так, у 2001 році на Миколаївському глиноземному заводі внаслідок пошкодження елементів хвостосховища відбулося поширення токсичного пилу, що призвело до забруднення територій площею десятки квадратних кілометрів.

У 2008 році аварійна ситуація на калійному підприємстві в місті Калуш зумовила потрапляння відходів виробництва до водної системи річки Дністер. Окрім того, в межах Калуського гірничопромислового району спостерігаються інтенсивні процеси просідання земної поверхні над шахтними виробками, у зоні впливу яких розташовані сотні житлових будинків, що створює реальну загрозу для населення та зумовлює необхідність відселення десятків сімей. Додатковим фактором екологічної небезпеки є розміщення на території ТОВ «Оріана-Галев» єдиного в Європі сховища токсичних відходів, де на спеціалізованому полігоні утилізовано понад 11 тис. тонн гексахлорбензолу – речовини першого класу небезпеки [4].

У 2021 році на хвостосховищі «Центральне», що перебуває на стадії будівництва на металургійному підприємстві «АрселорМіттал Кривий Ріг» поблизу м. Кривий Ріг, зафіксовано часткове порушення цілісності дамби. Аварійна ситуація призвела до витоку забрудненої технічної води обсягом близько 80 тис. м³, що становить приблизно 4 % від загального об'єму чаші хвостосховища, з подальшим надходженням рідких відходів на прилеглі землі

сільськогосподарського призначення в межах с. Миролюбівка. У результаті сформувалося локальне водоймище з відходів збагачення, а забруднена вода потрапила до трубопровідної мережі. Ймовірними причинами аварії розглядаються прорив або просідання елементів греблі. Інформація про інцидент була оприлюднена пресслужбою підприємства після відкриття кримінального провадження правоохоронними органами. Аварійний витік було оперативно локалізовано зі східного боку гідротехнічної споруди [4].

Станом на 2019 рік в Україні налічувалося 465 хвостосховищ, що містять загалом понад 6 млрд тонн відходів різних галузей промисловості. Більшість цих об'єктів є застарілими спорудами ще радянського періоду, багато з них залишені без належного нагляду та перебувають у критичному стані. У басейні річки Дністер ідентифіковано 32 хвостосховища з обсягом відходів 162 млн тонн, що перебувають на балансі 12 підприємств. Три об'єкти з найбільшими накопиченими обсягами відходів потребують невідкладного проведення протиаварійних заходів: ГП «Сірка» – 85 млн тонн, ТОВ «Оріана-Еко» – 26 млн тонн, гірничо-хімічне підприємство «Полімінерал» – 12,74 млн тонн.

Найкритичніша ситуація на ГП "Сірка" (місто Новий Розділ, Львівська область). Це підприємство фактично є банкрутом і не працює. При цьому одразу три хвостосховища підприємства – у передаварійному стані. Одне з них знаходиться лише за 380 метрів від Дністра [2].

Основні причини аварій на хвостосховищах

Аналіз історії техногенних аварій показує, що провідними чинниками їх виникнення є:

- людський фактор, який спричиняє близько 50,1 % випадків;
- відмови обладнання та техніки – 18,1 % випадків;
- невідповідність технологічним процесам – 7,8 % випадків;
- порушення проектних та експлуатаційних вимог, що включають недостатній моніторинг і несвоєчасне технічне обслуговування.

Таким чином, переважна частина аварій зумовлена поєднанням людського фактору та технічних недоліків, що підкреслює важливість системного контролю та дотримання технологічної дисципліни.

Екологічні наслідки аварій

Аварії на хвостосховищах призводять до масштабного забруднення навколишнього середовища, зокрема: токсичного забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод (ціаніди, важкі метали та інші шкідливі сполуки); масового ураження флори та фауни, а також загрози здоров'ю населення; руйнування інфраструктури, виробничих об'єктів та житлових будинків.

Соціальні наслідки

Соціально-економічні наслідки таких аварій проявляються у загибелі людей внаслідок прямого впливу токсичних речовин та затоплення територій; евакуації населення, втраті житла та майна; забрудненні сільськогосподарських угідь і джерел питної води, що призводить до тривалих негативних ефектів для місцевих громад.

Досвід аварій на хвостосховищах демонструє, що профілактика завжди економічно ефективніша та екологічно безпечніша, ніж ліквідація наслідків. Основні заходи запобігання включають:

– дотримання сучасних стандартів безпеки та нормативів проектування і експлуатації хвостосховищ;

– організацію системного моніторингу технічного стану споруд та регулярне технічне обслуговування;

– врахування попереджень працівників і профспілок, які часто першими виявляють потенційні ризики.

Реалізація цих заходів дозволяє знизити ймовірність аварій, мінімізувати екологічні та соціальні ризики, а також забезпечити безпечне функціонування хвостосховищ та довгострокову стабільність навколишнього середовища.

Висновки. Аналіз аварій на хвостосховищах показує, що основними причинами є людський фактор, технічні відмови та порушення технологічних та проектних вимог. Наслідки таких аварій включають токсичне забруднення ґрунтів і водних об'єктів, руйнування інфраструктури та загрозу життю людей і здоров'ю населення. Особливо значні екологічні та соціальні ризики виникають у районах з великими обсягами накопичених відходів і застарілими спорудами. Досвід підтверджує, що профілактичні заходи більш ефективні, ніж ліквідація наслідків аварій. До них належать дотримання сучасних стандартів безпеки, системний моніторинг технічного стану та врахування попереджень працівників і фахівців. Реалізація цих заходів дозволяє мінімізувати техногенні ризики та забезпечити стабільне функціонування хвостосховищ.

Література:

1. На межі екологічної катастрофи: чому Україні слід боятися промислових відходів. 24 Канал. URL: https://24tv.ua/ukrayina-na-mezhi-ekologichnoyi-katastrofi-promislovi-vidhodi_n1388362 (дата звернення: 09.02.2026)

2. 2. About JOUAV Drone Company | A Leading Drone Manufacturer. JOUAV. URL: https://www.jouav.com/company (date of access: 09.02.2026).

3. У Кривому Розі на металургійному комбінаті прорвало дамбу, звідки витекла брудна вода. РБК-Україна. URL: https://www.rbc.ua/ukr/news/krivom-roge-metallurgicheskom-kombinate-prorvalo-1640343651.html (дата звернення: 09.02.2026).

4. Калуш: детонатор екологічної бомби спрацює?.. Новини України - останні новини України сьогодні - УНІАН. URL: https://www.unian.net/economics/industry/296627-kalush-detonator-ekologicheskoy-bombyi-srabotaet.html (дата звернення: 09.02.2026).

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE STRENGTH OF A DISPERSELY REINFORCED EPOXY COMPOSITE MATERIAL

Kukhar V.Yu., PhD (Engineering),
Dnipro University of Technology

Composite structural materials [1] are widely used in the design of industrial water filters [2] developed and manufactured by Oceanmashenergo LLC (Dnipro, Ukraine). These materials are used to manufacture bearing bushings for long-term operation in dirty water under working pressures of up to 2.5 MPa.

As an industrial composite material, a thermosetting epoxy resin CHS-EPOXY 520, hardener CHS-HARDENER P11 (manufacturer SPOLCHEMIE, Czech Republic [3]), and the plasticizer dibutyl phthalate (DBP) were used. Disperse reinforcement of the epoxy composition, with simultaneous reduction of expensive resin components, was achieved using a low-cost filler—Portland cement, which has a density (1.1 g/cm³) close to that of the epoxy composition (1.12 g/cm³).

Composite materials are used to connect the housing bushings and bearing bushings, operate for long periods in water and withstand forces from internal pressure and friction in the bearings. Therefore, it is necessary to determine the specific mechanical properties of composites to ensure long-term reliable service life.

The main critical type of loading for the composite is shear, when the internal pressure acting on the bearing bushing is transmitted through it to the housing bushing. To determine the shear strength limit of the composite, experimental studies were carried out on specimens that simulate the operating conditions of the composite in actual products.

The experimental specimen (Figure 1) for apparatus-based determination of shear strength consists of a threaded rod coaxially placed with a clearance inside the internal cavity of a threaded sleeve. The diameter at the thread crests of the rod was d=6mm; the diameter of the internal thread of the sleeve was D=8,16 mm. The cavity between the rod and the sleeve was filled with the industrial composite, following the specified component composition and manufacturing technology. The height of the compound layer was h=8.5…9.0 mm. The polymerization time of the epoxy compound was 72 hours at a temperature of 20 °C.

The tests were conducted using a UM-5A testing machine with a measurement range of 20,000 N and a scale division of 50 N. A support sleeve was placed under the test specimen to allow free movement of the threaded rod upon specimen failure. By compressing the specimen at a force increase rate of 250 N per second, the specimen was brought to failure of the compound integrity, at which point the threaded rod began to sink into the sleeve (Figure 2). The onset of failure was recorded by a sharp decrease in compressive force on the indicator. The achieved compressive force was recorded. The experiments were performed five times on prepared specimens.

The results of the experimental study are as follows:

1. Failure of the composite occurred along the edges of the rod threads, at the “metal–compound” interface. Between the turns of the threaded rod, remnants of the compound were observed, which adhered firmly to the metal of the rod (Figure 3).

Figure 1

Figure 2

Figure 3

2. The recorded failure forces F of the compound were 7800 N, 7800 N, 7200 N, 6800 N, and 6800 N. The variation can be explained by variability in the thickness of the compound layer in the specimens. The arithmetic mean value is 7280 N.

3. The shear strength limit of the compound was determined using the formula

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot h} = \frac{7280N}{\pi \cdot 0{,}006mm \cdot 0{,}0085mm} = 45{,}25 \cdot 10^6\ Pa = 45\ MPa.$$

References

1. Kukhar V.Yu. Experience in the use of dispersely reinforced composite materials in the structures of industrial technical water filters / Abstracts of the 21st All-Ukrainian Scientific and Technical Conference “Poturaiev Readings”. February 23, 2024, Dnipro, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, 2024, 102 p., p. 21. URL: https://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/vibro/Тези ПЧ 2024 1.pdf (accessed: 09.02.2026).

2. Technical water filters of R&D Company LLC “Oceanmashenergo”. URL: https://www.oceanmas.dp.ua/index.html (accessed: 09.02.2026).

3. Czech chemical company SPOLCHEMIE. URL: https://www.spolchemie.cz/en (accessed: 07.02.2026).

ВПЛИВ СТАРІННЯ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ГУМОВИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ АБРАЗИВНО-ВТОМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В.
(ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

Гумові та гумометалеві деталі широко застосовуються в машинах і механізмах, що працюють в умовах інтенсивного механічного навантаження, циклічних деформацій, контакту з твердими абразивними частинками та дії агресивних середовищ. До таких умов належать гірничі, транспортні, аграрні та енергетичні машини, у яких гумові елементи виконують захисні, демпфувальні або робочі функції. Практика експлуатації показує, що фактична довговічність гумових деталей часто суттєво відрізняється від розрахункової, що зумовлено складним характером їх руйнування [1].

Більшість існуючих методик оцінки ресурсу гумових деталей базується на припущенні сталості фізико-механічних і реологічних характеристик матеріалу. Такий підхід не враховує процеси старіння еластомерів, які проявляються у зміні модулів пружності, коефіцієнтів дисипації енергії, релаксаційних властивостей та здатності матеріалу поглинати механічну енергію. Ігнорування цих процесів призводить до істотних похибок при прогнозуванні довговічності та залишкового ресурсу гумових деталей.

Синергетичний характер руйнування гумових деталей, що працюють в умовах абразивно-втомного навантаження, зумовлений одночасною дією кількох взаємопов'язаних механізмів. Формування зношування відбувається внаслідок поєднання абразивного руйнування поверхневого шару, втомного накопичення пошкоджень у об'ємі матеріалу, дисипативного саморазігріву та структурних змін еластомеру, пов'язаних зі старінням. Нелінійна взаємодія зазначених механізмів призводить до прискореного накопичення пошкоджень, що не може бути пояснене сумарним ефектом кожного з них окремо, і в підсумку визначає фактичний ресурс гумової деталі. [2].

Для інтегральної оцінки довговічності запропоновано енергетичний підхід, відповідно до якого руйнування гумової деталі настає при досягненні критичного значення енергії, що дисипується в матеріалі в процесі циклічного навантаження та абразивного контакту. Ключове критеріальне співвідношення можна подати у вигляді:

$$\int_0^{t^*} \eta_p E(t)\varepsilon^2(t)\psi(t)dt = \Delta U^*$$

де $E(t)$ - модуль пружності еластомеру,

$\varepsilon(t)$ - відносна деформація,

$\psi(t)$ - коефіцієнт дисипації енергії,

η_p - частка енергії, що витрачається безпосередньо на руйнування структури матеріалу,

ΔU^* - критична щільність енергії руйнування,

t^* - час до відмови гумової деталі.

Експериментальні дослідження показують, що в процесі тривалої експлуатації відбувається істотна еволюція реологічних характеристик гуми: модуль пружності може змінюватися на десятки відсотків, тоді як коефіцієнт дисипації енергії зменшується у кілька разів [3]. Такі зміни зумовлені структурними перетвореннями полімерної сітки та призводять до зниження демпфувальних властивостей матеріалу, що істотно прискорює накопичення пошкоджень при абразивно-втомному навантаженні.

На рис. 1 схематично показано енергетичний баланс гумової деталі при циклічному навантаженні з урахуванням старіння матеріалу, де частина підведеної механічної енергії дисипується у вигляді тепла, а інша - витрачається на незворотні процеси руйнування структури еластомеру.

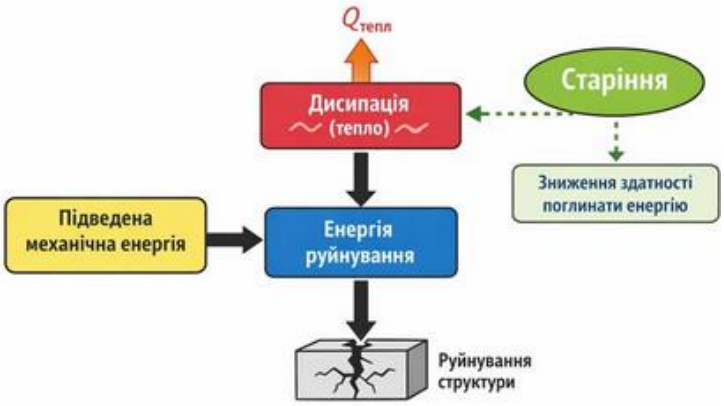


Рис. 1

Вплив старіння еластомерів проявляється не лише у зміні механічних характеристик матеріалу, а й у характері його взаємодії з абразивним середовищем. Зі зменшенням здатності гуми до дисипації енергії зростає локальна концентрація напружень у поверхневому шарі, що призводить до інтенсифікації абразивно-втомного зношування, особливо за умов тривалого циклічного навантаження з кумулятивним накопиченням пошкоджень.

Отримані результати підтверджують, що старіння еластомерів є визначальним фактором довговічності гумових деталей. Запропонований енергетичний підхід дозволяє інтегрально враховувати вплив навантаження та еволюцію властивостей матеріалу в часі й підвищує достовірність прогнозування ресурсу гумових елементів.

Література

1. Калганков, Є. В. (2013). Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об’ємного гідроприводу мобільних машин. *Геотехнічна механіка*, (108), 181–201.

2. Bulat, A. F., Dyrda, V. I., & Kalhankov, Y. V. (2018). Synergetic model of the wave abrasive-fatigue wear of rubber lining in the ball-tube mills. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 39–47. https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5

3. Puhach, A., Chernii, O., & Kalhankov, Y. (2023b). Study of the effect of stress relaxation and residual deformation of modern polymer materials to protect the surfaces of parts from wear. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, *1*(8(39)), 76–84. https://doi.org/10.32515/2664-262x.2023.8(39).1.76-84

МЕТОДИ ОЦІНКИ РИЗИКУ ПРУЖНО-СПАДКОВИХ СИСТЕМ

Лисиця М.І.[1], Новікова А.В.[1], Агальцов Г.М.[1], Лисиця Н.М.[2], Калганков Є.В.[1]
[1]ІГТМ НАН України, [2]ДНУ ім. О. Гончара

Необхідність аналізу ризику для пружно-спадкових систем пов'язана з нестабільністю природних та техногенних процесів, можливістю реалізації в них небезпечних явищ, можливістю негативних сценаріїв розвитку і нестабільності умов діяльності організацій, що призводить до відхилення фактичного результату їх роботи від очікуваного та впливає на ефективність прийнятих рішень [1].

Для еластомерних захисних елементів [2, 3] доцільно застосовувати методи оцінки показників ризику, які базуються:

– на схемі пуассонівського розподілу потоку негативних подій (за наявності вибірок великого обсягу):

$$\lambda = \frac{n}{T}, \quad Q(\Delta t) = 1 - \exp\left[-a(\Delta t)\right], \quad a(\Delta t) = \lambda \Delta t ,$$

де λ – частота (інтенсивність) негативних подій; n – кількість негативних подій за час спостереження T; $Q(\Delta t)$ – ймовірність хоча б однієї негативної події за інтервал часу Δt;

– на статистичному методі – біноміальна схема (при досить малих кількостях негативних подій):

$$Q(\Delta t) \to 0, N \to \infty, F(n) = P(\xi \le n) = \sum_{k=0}^{n} \frac{N!}{k!(N-k)!} Q^k (1-Q)^{N-k} ,$$

$\xi(n \le \xi \le N)$ – випадкова величина числа негативних подій;

– на імовірнісно-статистичному методі – заснований на залученні додаткової інформації про розподіл збитків для об'єкта аналізу від розглядуваної небезпеки у разі її реалізації (розподіл негативних подій – нещасних випадків на виробництві – по збитках відомий);

– на теоретико-імовірнісному методі – для оцінки частот або імовірностей рідкісних негативних подій з тяжкими наслідками, за якими статистика практично відсутня (таких, наприклад, як стихійні лиха на певній території, техногенні катастрофи типу катастрофи в Чорнобилі).

Вибрані методи оцінки ризику пружно-спадкових систем з використанням гумових елементів дозволяють найбільш адекватно дослідити показники надійності їх роботи в залежності від наявного обсягу негативних подій.

Література

1. Абракітов В.Е. Надійність технічних систем та техногенний ризик / В.Е. Абракітов. – Харків: ХНУМГ, 2014. – 67 с.
2. Прикладна механіка пружно-спадкових середовищ: у 3-х томах / А.Ф. Булат, В.І. Дирда, Є.Л. Звягільський, А.С. Кобець. – Т. 2. Методи розрахунку еластомерних деталей. – К.: Наук. думка, 2012. – 616 с.
3. Еластомери у гірничій справі / А.Ф. Булат, В.І. Дирда, Є.Л. Звягільський [та ін.]. – К.: Наук. думка, 2016. – 384 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО ВІБРОЖИВИЛЬНИКА ДЛЯ ПООДИНОКОГО ДОЗУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ФЕНОТИПУВАННЯ

Старший викладач кафедри інжинірингу технічних систем, здобувач наукового ступеня доктора філософії ОНП «Галузеве машинобудування» Черній О.А.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Сучасні автоматизовані лінії фенотипування сільськогосподарських культур потребують високоточного дозування посівного матеріалу, зокрема подачі насіння поштучно [1]. Одним із найбільш ефективних технічних рішень для таких задач є використання чашевих віброживильників зі спіральними напрямними доріжками, що забезпечують транспортування насіння під дією вимушених коливань [2].

У даній роботі наведено результати експериментальних досліджень спірального віброживильника, призначеного для дозування насіння соняшнику в автоматизованих технологічних лініях. Основну увагу зосереджено на визначенні амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) системи, аналізі впливу маси завантаження чаші та режимів електричного живлення вібропривода на показники вібротранспортування.

Для проведення експериментів було виготовлено дослідний зразок віброживильника з використанням адитивної технології FDM-друку. Конструктивні елементи моделювалися у середовищі 3D-проєктування, після чого виготовлялися на принтері Creality K1 Max із застосуванням ABS+ філаменту. Такий підхід дозволив швидко отримати прототип і забезпечити необхідну точність геометрії спірального жолоба, параметри якого розраховано і обґрунтовано в попередніх аналітичних дослідженнях.

Експериментальна установка включала чашевий віброживильник, прилад для вимірювання параметрів вібрації VM 6360 із п’єзоелементом, лабораторне джерело живлення RXN-305D та безконтактний прилад вимірювання частоти обертів Benetech GM8905 для контролю частоти обертання дебалансів. П’єзодатчик кріпився до центру чаші віброживильника за допомогою гвинта з метричною різьбою М5. Це сприяло жорсткому зв’язку п’єзоелемента з вібруючим дном чаші. Вигляд експериментального стенду в робочому стані показано на рис. 1. Він містить: 1−ємність збору дозованого насіння соняшнику; 2−чашу віброживильника з встановленими параметрами вібрації; 3− датчик вібрації на основі п’єзоелемента; 4− вивантажувальний жолоб віброживильника; 5− лабораторне джерело живлення RXN-305D; 6− безконтактний прилад вимірювання частоти обертів.

В дослідженні використовувалось насіння соняшнику з назвою Alkantara, яке було поділено на три фракції за розмірами (мілка, середня, крупна). Додатково формувалися наважки масою 29 г, 58 г, 116 г для аналізу впливу завантаження на динаміку системи.

Отримані експериментальні залежності показали наявність двох виражених резонансних частот коливань чаші. При збільшенні маси

завантаженого насіння резонансні частоти зміщуються у бік менших значень, що узгоджується з теоретичними положеннями вібромеханіки, де зростання коливальної маси призводить до зменшення власної частоти системи. Також встановлено, що насіння проявляє демпфувальні властивості, знижуючи пікові значення віброприскорення та віброзміщення.

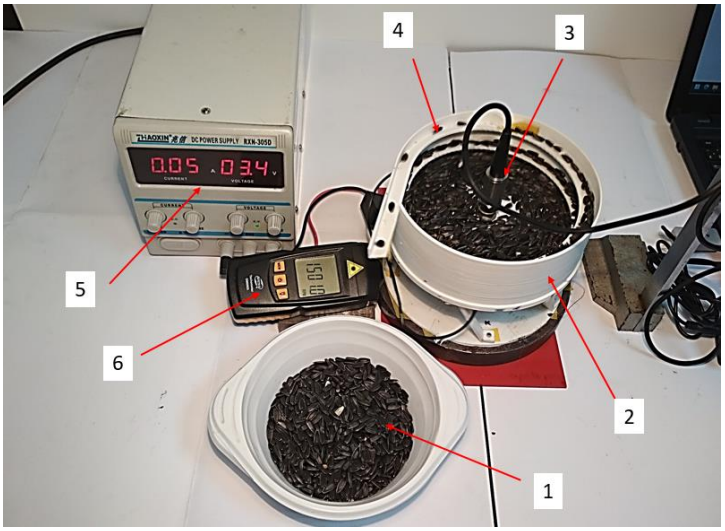


Рис 1

Оптимальні умови транспортування насіння спостерігалися у діапазоні вимушених частот ω від 150 $с^{-1}$до 170 $с^{-1}$, а вертикальна амплітуда коливань чаші А різнилась від 0,35 мм до 0,60 мм. Такі режими досягалися за напруги живлення віброприводa близько 3,3 В. Рух насіння у всіх дослідних режимах мав безвідривний характер, що є важливим для збереження якості посівного матеріалу.

За результатами факторного експерименту отримано регресійні моделі другого порядку, які описують залежність амплітуди, віброзміщення, віброприскорення та віброшвидкості від маси завантаження m і напруги U, що подається на якір електромотора. Дисперсійна обробка експериментальних даних підтвердила статистичну значущість побудованих рівнянь, що дозволяє використовувати їх для подальшої оптимізації конструктивно-технологічних параметрів віброживильника.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження підтвердили працездатність спірального віброживильника та визначили раціональні режими його роботи для поштучного дозування насіння соняшнику в автоматизованих лініях фенотипування.

Література

1. Pieruschka, R., & Schurr U. Plant Phenotyping: Past, Present, and Future. *Plant Phenomics*. 2019. Vol. 2019, P. 1–6. DOI: 10.34133/2019/7507131
2. Алієв, Е. Б., Ведмедєва, К. В. Кількісне фенотипування генотипів соняшнику: монографія. Дніпро: ЛІРА, 2024, 204 с.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ ПЕРЕРОБКИ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ШЛЯХОМ ТОНКОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Провідний науковий співробітник, д.т.н., с.н.с. Лапшин Є.С.,
старший науковий співробітник, д.т.н., с.н.с. Шевченко О.І.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Техногенне навантаження на природне середовище в Україні надзвичайно високе, оскільки в минулому столітті проводилося нераціональне використання природних ресурсів (видобування та переробка корисних копалин), надмірне розміщення гірничих, переробних виробництв, об'єктів на окремих територіях, а також природоохоронні технології та очисні споруди, які працюють недостатньо ефективно або зовсім відсутні. Екологічну ситуацію в Україні можна характеризувати як критичну, оскільки частина природних ресурсів, що видобуваються з надр, на підприємствах лише готуються до переробки в концентрат, а різні відходи переробки, особливо тверді та шламові, які складуються у значних кількостях у накопичувачі є проблемою, оскільки займають великі території, виводячи їх із сільськогосподарської діяльності [1-3].

Існуючі накопичувачі вже перевантажені, мають великі площі і вимагають значних експлуатаційних витрат, які впливають на підвищення собівартості виробництва корисної продукції. Накопичені відходи є серйозною загрозою для навколишнього середовища, оскільки величезні обсяги пилу в суху погоду та їх фільтрація у вологу пору року є потенційними джерелами небезпеки для здоров'я населення регіону, завдають значної шкоди рослинному та тваринному світу [4].

Зниження шкідливого впливу видобутку та переробки корисних копалин на навколишнє середовище з урахуванням ринкових відносин може здійснюватися за такими основними напрямами: удосконалення техніки та технології збагачення з метою максимального вилучення цінних компонентів у товарну продукцію, а також складування відходів збагачення з метою мінімізації їх впливу на навколишнє середовище; комплексне використання продуктів збагачення, включаючи утилізацію відходів з метою отримання максимального прибутку та повернення до сільгоспобороту раніше використаних у промисловому виробництві земельних ресурсів [5].

Перший напрямок передбачає розробку та освоєння [5]:

– технологічних схем збагачення, які забезпечують мінімізацію відходів;

– технологічних прийомів, що виключають або істотно знижують шкідливий вплив відходів, які складуються, газових викидів і стічних вод на навколишнє середовище.

Другий напрямок кардинальніший, оскільки вирішує питання повної ліквідації відходів, роблячи їх сировиною для виробництва іншої корисної продукції [5].

Доцільність технологічної та економічної утилізації відходів випливає з величезних запасів, складного хімічного складу та привабливих для використання фізичних властивостей [6].

Основні дослідження були спрямовані на вивчення властивостей техногенних відходів, удосконалення устаткування, яке використовується, і на розробку технології вилучення корисних компонентів з відходів.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, які корисні компоненти з чорних, кольорових, металевих, енергетичних та стратегічних мінералів можна отримати додатково при комплексній переробці техногенних відходів.

Запропоновано збагачення шляхом тонкої класифікації за крупністю на прикладі відходів гірничорудної, металургійної та паливно-енергетичної промисловості.

Проведено аналіз можливостей та перспектив збагачення шляхом тонкої класифікації за крупністю на прикладі відходів збагачення: титано-цирконієвих пісків, вугільних шламів, металургії (шлаки та шлами), енергетики (шлаки та летюча зола). Встановлено, за яким класом крупності необхідно розділити сировину, щоб отримати продукт, який має попит споживачів, і чим забезпечити цей поділ. Показано необхідність використання тонкої класифікації при переробці відходів виробництва.

Запропоновано та обґрунтовано перспективність використання віброударного грохоту конструкції ІГТМ НАН України [7] при переробці різних техногенних відходів. Його випробування продемонстрували досить високі показники грохочення: для сухих матеріалів вилучення класу менше 0,02 мм у підрешітний продукт становило 78-80%; для мокрих з накопичувача – 68-72%, при цьому вологість надрешітного матеріалу була знижена з 30 до 7-8%.

Комплексна переробка дозволить знизити кількість відходів, що спрямовуються в накопичувачі, зменшити відчужувані для них території, забезпечити зростання рентабельності підприємств, значно зберегти природні ресурси та скоротити дефіцит різних матеріалів.

Література.

1. Горбулін В.П. Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України / В.П. Горбулін, А.Б. Качинський. – К.: ДП «Євроантлантикінформ». – 2007. – 592с.

2. Яковлев Є.О. Сучасні фактори національної безпеки України при формуванні мінерально-сировинної бази / Є.О. Яковлев. – Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – №5. – С. 84-87.

3. Яцик А.В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення / А.В. Яцик. – Вісті академії інженерних наук України. – 2003. – №2. – С.3-6.

4. Егоров П.А. Технология переработки зол тепловых электростанций / П.А. Егоров, А.А. Березняк. – Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – Вип. 29(70)-30(31). – С. 224-227.

5. Технолого-экологический инжиниринг при обогащении полезных ископаемых. Т 69 [Текст]: учеб. пособие / А.Д. Полулях, П.И. Пилов, А.И. Егурнов, Д.А. Полулях. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 713 с.

6. Лапшин Є.С. Обґрунтування можливості отримання з техногенних відходів вторинної сировини, що містить цінні компоненти. / Є.С. Лапшин, О.І. Шевченко. – Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2025. – Вип. 39. С. 160-174.

7. Шевченко О.І. Розвиток наукових основ процесу віброударного зневоднення техногенної сировини гранулометричного складу, який змінюється: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.15.09. Дніпро, 2021. 45 с.

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В МЕХАНІЦІ МАТЕРІАЛІВ: ВПЛИВ ФУЛЕРЕНУ C_{60} НА ВЛАСТИВОСТІ ТА СТАРІННЯ ГУМОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Учень Калганков А.Є.
мала академія наук України
доктор наук з державного управління, к.т.н., професор Пугач А.М., старший викладач Калганков Є.В.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Нанотехнології є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасної науки і техніки та охоплюють матеріалознавство, машинобудування, енергетику, електроніку й аграрний сектор. Їх застосування дозволяє цілеспрямовано змінювати властивості матеріалів на мікро- та нано-рівнях, що відкриває можливості створення матеріалів з новими експлуатаційними характеристиками. Особливе місце серед наноматеріалів займають фулерени - алотропні форми вуглецю, відкриті у 1985 році, які мають замкнену сферичну структуру та унікальні фізико-хімічні властивості [1].

Найбільш відомим представником цієї групи є фулерен C_{60}, молекула якого складається з 60 атомів вуглецю та за геометрією нагадує футбольний м'яч. Така структура забезпечує фулерену високу стабільність, підвищену реакційну активність і здатність взаємодіяти з макромолекулами полімерів. Завдяки цим властивостям фулерен C_{60} широко застосовується як ефективний наномодифікатор у полімерних і композиційних матеріалах для покращення їх механічних, теплових і експлуатаційних характеристик [1].

Гумові та гумометалеві деталі широко використовуються в машинах і механізмах різного призначення, зокрема у гірничій, транспортній, аграрній та енергетичній техніці. Такі деталі часто працюють в умовах інтенсивних циклічних навантажень, контакту з твердими абразивними частинками, підвищених температур і дії агресивних середовищ. У процесі експлуатації гумові матеріали зазнають старіння, яке проявляється у зміні фізико-механічних і реологічних властивостей, що з часом призводить до зниження їх довговічності.

Суттєвою проблемою є те, що більшість традиційних гумових матеріалів не забезпечує стабільності властивостей протягом усього терміну служби [2]. Старіння супроводжується зростанням жорсткості, зниженням еластичності та погіршенням здатності матеріалу поглинати механічну енергію. У результаті прискорюється накопичення втомних і абразивних пошкоджень, що зменшує фактичний ресурс гумових деталей [3].

Одним із перспективних шляхів підвищення довговічності гумових матеріалів є їх модифікація нанодобавками [4, 5]. Введення фулерену C_{60} у гумову суміш навіть у невеликих кількостях дозволяє змінювати структуру матеріалу на мікрорівні, впливаючи на рухливість макромолекул каучуку та характер їх взаємодії. Це сприяє формуванню більш стабільної внутрішньої структури еластомеру та уповільненню процесів деградації.

Експериментальні дослідження показали, що введення 0,05 мас.ч. фулерену C_{60} у гумову суміш призводить до зменшення твердості матеріалу на 5–7 % та підвищення його еластичності порівняно з базовою композицією. Після тривалої експлуатації встановлено, що гума без модифікації зазнає старіння на рівні 25–27 %, тоді як для гуми, модифікованої фулереном C_{60}, цей показник зменшується до 15–18 %. Це свідчить про більш повільний розвиток деградаційних процесів у модифікованому матеріалі.

Важливим показником працездатності гумових матеріалів є коефіцієнт дисипації енергії, який характеризує здатність матеріалу поглинати механічну енергію та зменшувати концентрацію напружень. Для гуми, модифікованої фулереном C_{60}, встановлено збільшення коефіцієнта дисипації на 20–25 %, що свідчить про покращення демпфувальних властивостей матеріалу. Це дозволяє знизити інтенсивність розвитку втомних і абразивних пошкоджень у процесі експлуатації.

Дослідження термічного старіння показали, що після витримування гумових зразків при температурі 100 °C протягом 72 годин модифікована фулереном гума старіє приблизно на 20 % менше, ніж немодифікована. Отримані результати підтверджують ефективність використання фулерену C_{60} як наномодифікатора для підвищення термостійкості та довговічності гумових матеріалів.

Таким чином, застосування фулерену C_{60} є перспективним напрямом удосконалення гумових матеріалів, що працюють в умовах інтенсивного абразивно-втомного навантаження. Використання наномодифікованих гум дозволяє підвищити ресурс гумових деталей, зменшити інтенсивність їх старіння та забезпечити більш стабільні експлуатаційні характеристики. Це відкриває широкі можливості застосування таких матеріалів у машинобудуванні, аграрній техніці та інших галузях сучасної техніки.

Література

1. General Information About Fullerene C60, Also Known As Buckyballs. URL: https://medium.com/@nanografi/general-information-about-fullerene-c60-also-known-as-buckyballs-1654c74c6b30

2. Kalhankov, Ye. V. (2017). Osoblyvosti fraktalnoho analizu poverkhni ruinuvannia humovykh futerovok, shcho pratsiuiut v umovakh abrazyvno-vtomnoho znosu. *Heotekhnichna mekhanika*, (133), 66–74.

3. Kalhankov, Y. (2013). Calculation of the durability of rubber linings for ball ore grinding mills, taking into account rubber aging. *Geo-Technical Mechanics*, (113), 181–202. https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/87583

4. Dyrda V., Kobets A., Lysytsia M., Zabolotna O., Tverdokhlib T., Kalhankov Ye, Chernyi O. & Ahaltsov G. Nanomaterials in the mechanics of deformed solids on the example of rubber linings of drum ball mills. (2021). *Geo-Technical Mechanics*, (157), 131–139. https://doi.org/10.15407/geotm2021.157.131

5. Гумова суміш для виготовлення захисних футеровок кульових млинів: пат. 139991 UA / Дирда В.І., Калашніков В.О., Головко Л.Г., Калганков Є.В., Цаніді І.М. № u2019 04366; заявл. 22.04.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3. 5 с.

ЧИСЕЛЬНЕ DEM-МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗНОШУВАННЯ ГУМОВИХ ФУТЕРІВОК КУЛЬОВИХ МЛИНІВ ПЕРШОЇ СТАДІЇ ПОДРІБНЕННЯ

Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Кульові барабанні млини широко застосовуються у гірничодобувній та металургійній промисловості для подрібнення рудної сировини. Особливо складні умови реалізуються на першій стадії подрібнення, де використовуються кулі великого діаметра та формуються значні ударно-абразивні навантаження. У таких умовах одним із ключових елементів забезпечення надійності є захисна гумова футерівка, яка виконує демпфуючу функцію, знижує шум та підвищує довговічність барабана [1].

Разом із тим механізм взаємодії внутрішньомлинного завантаження з гумовою футерівкою є складним багатофакторним процесом, що поєднує ударний, абразивний та абразивно-втомний знос. Найбільш інтенсивні процеси руйнування виникають у приконтактному шарі «завантаження – футерівка», де реалізується стохастичний рух куль, руди та пульпи. У результаті старіння гуми супроводжується розвитком мікротріщин, пластичною деформацією поверхневого шару та поступовим зниженням демпфуючих властивостей футерівки.

Метою даної роботи є дослідження динаміки руху внутрішньомлинного завантаження та визначення зон максимального навантаження, що формують характер і швидкість зношування гумових футерівок різної конструкції.

Дослідження виконано з використанням чисельного моделювання методом дискретних елементів (DEM) у програмному комплексі Rocky DEM, який дозволяє відтворювати контактну взаємодію частинок завантаження, траєкторії куль, розподіл сил та локальні області ударного впливу. Розглянуто дві конструкції футерівок:

– типу «Плита – Ліфтер – Плита»;

– типу «Плита – Плита» (трапецієподібна форма без ліфтерів).

Для верифікації результатів моделювання проведено експериментальні дослідження на лабораторному млині з візуалізацією руху завантаження через прозоре вікно барабана та фіксацією режимів роботи за допомогою тахометрії й цифрової відеозйомки.

Результати показали, що найбільші навантаження на футерівку концентруються у зоні п’яти відкату, де спостерігається хаотичний турбулентний рух куль і крупних фрагментів матеріалу. Саме ця зона є критичною для формування ударного механізму зносу. При використанні футерівки з ліфтерами відбувається підйом завантаження до більших кутів, що сприяє переходу до водоспадного режиму та зростанню пікових ударних імпульсів.

Футерівка типу «Плита – Плита» забезпечує більш стабільний режим ковзання та перетирання, що знижує ударну складову навантаження і сприяє менш інтенсивному зношуванню. Отримані результати узгоджуються з

хвильовою моделлю абразивно-втомного руйнування гумових футерівок, запропонованою Калганковим та співавторами [2].

Важливим аспектом є те, що геометрія та морфометричні параметри футерівки безпосередньо впливають на енергетичний баланс процесу подрібнення. Гумові елементи складної форми можуть виступати своєрідними генераторами гідродинамічних та акустичних збурень у пульпі, що змінює характер турбулентності та сприяє встановленню більш стійкого режиму руху завантаження. Таким чином, футерівка є не лише захисним елементом, але й активним компонентом технологічної системи млина, що визначає ефективність дисипації енергії та інтенсивність руйнування матеріалу.

Промислові спостереження на млині МШР 3,6×4,0 підтвердили, що втомна деструкція гуми розвивається переважно у верхньому шарі товщиною до 30 мм, після чого матеріал втрачає демпфуючу здатність, а поверхня набуває характерних хвильових та кавернозних форм пошкодження.

На основі проведених досліджень розроблено футерівку нового типу «Плита-Н-Хвиля», яка має збільшену товщину плит та несиметричну трапецієподібну геометрію, узгоджену з динамікою руху завантаження (рис.1) [3]. Промислові випробування показали зниження енергоспоживання приблизно на 5%, зменшення витрат помольних тіл на 5% та підвищення виходу готового класу продукту на 10–12%.

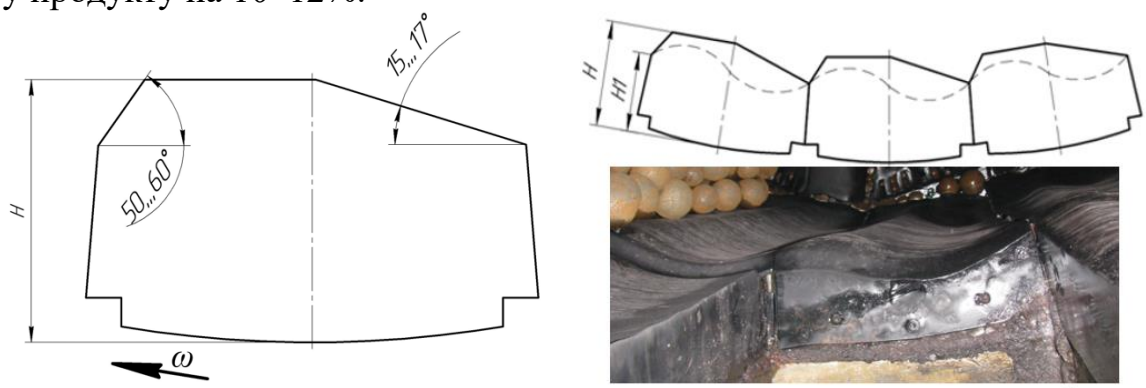


Рисунок 1 - Не симетрична трапецієподібна футерівка типу "Плита-Н-Хвиля"
а - плита футерівки барабанного млина (переріз), б - поверхня плити з утвореною хвилястою формою напрацювання млина 3780 годин

Таким чином, поєднання DEM-моделювання та експериментальної перевірки дозволяє прогнозувати зони критичного зносу футерівок і оптимізувати їх конструктивні параметри для підвищення довговічності та енергоефективності кульових млинів в екстремальних умовах експлуатації.

Список літератури

1. Калганков, Є. В. (2013). Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об’ємного гідроприводу мобільних машин. *Геотехнічна механіка*, (108), 181–201.
2. Bulat A., Dyrda V., Kalhankov Y. Synergetic model of the wave abrasive-fatigue wear of rubber lining in the ball-tube mills. *Scientific Bulletin of NSU*, 2018, (5), 39–47.
3. Калганков Є.В., Дирда В.І., Калашніков В. та ін. *Футерівка барабанного млина*. Патент України №105550, 2016.

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЇ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗА ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ

Студентка Година С.Є., доцент Кухар В.Ю.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Метою аналізу джерел інформації є вивчення конструкції сучасних біонічних протезів рук (зокрема моделі Esper Hand) та обґрунтування використання полімерних композитів для оптимізації їхньої роботи. Отримані дані стануть основою для подальшого віртуального проектування у кваліфікаційній роботі магістра.

Сучасні біонічні протези — це складні антропоморфні системи, що мають забезпечувати високу функціональність при мінімальній вазі. Кожні додаткові 50–100 г маси виробу створюють значне навантаження на куксу пацієнта, що веде до швидкої втоми. Використання традиційних алюмінієвих сплавів у каркасах фаланг є поширеним, проте обмеженим за показниками питомої міцності та втомної довговічності.

Типовий склад біонічної руки наведено на рисунку 1. Вона складається з: системи міоелектричних датчиків 1, корпусу з акумуляторами 2 та блоку приводів 3, механізму ротації зап’ястя 4, змінного виконавчого органу (пальці з фалангами) 5 [1].

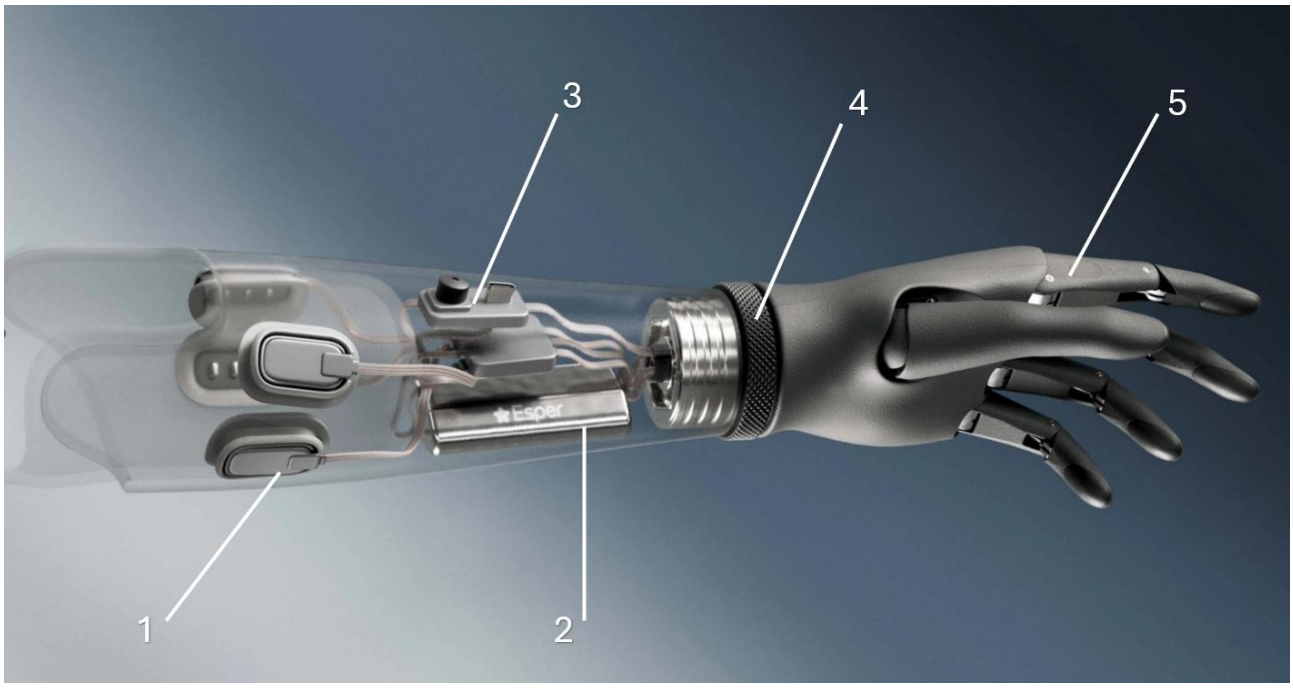


Рис. 1

Для забезпечення надійного захвату предметів конструкція повинна витримувати зусилля стиснення до 100 Н та бути стійкою до циклічних навантажень. Експлуатація в складних умовах (вологість, піт, побутова хімія) вимагає від матеріалів високої корозійної стійкості.

Заміна алюмінієвих структурних елементів на полімерні композиційні матеріали (зокрема вуглепластики) має наступні переваги:

1) Зниження маси: Питома міцність вуглепластику дозволяє зменшити вагу фаланг на 30–40% порівняно з алюмінієм.
2) Втомна міцність: Композити краще сприймають мільйони циклів навантаження без накопичення мікротріщин, що критично для рухомих частин протеза.
3) Оптимізація властивостей: На відміну від ізотропних металів, у композитах можна задати напрямок волокон відповідно до головних векторів напружень, що виникають при захваті [2].

Для модернізації силового каркаса фаланг доцільно розглянути використання вуглецевого композиту на основі епоксидної матриці. На відміну від ізотропних алюмінієвих сплавів, цей матеріал дозволяє реалізувати принцип направленого армування: орієнтація волокон вуглецю уздовж ліній максимальних розтягуючих напружень при захваті забезпечує необхідну жорсткість при значному зменшенні об’єму матеріалу [3].

Важливою перевагою такої заміни є підвищення енергоефективності всієї системи. За рахунок зниження маси та моменту інерції рухомих частин пальців, приводи витрачають менше потужності на розгін та гальмування механізму. Це дозволяє подовжити час автономної роботи протеза без збільшення ємності акумуляторних батарей, що є впливовим фактором для повсякденного використання. Крім того, полімерна матриця має високі демпфуючі властивості, що сприяє поглинанню вібрацій та ударних навантажень під час контакту з твердими поверхнями.

Подальшим етапом дослідження є створення скінченно-елементної моделі фаланги в середовищі SolidWorks Simulation для порівняльного аналізу напружено-деформованого стану металевого та композитного варіантів. Це дозволить розрахувати оптимальну кількість шарів вуглеволокна та забезпечити необхідний запас міцності при мінімальних габаритах.

Література

1. Esper Hand: Technical Specifications and Engineering Insights. 2024. URL: https://esperbionics.com/ (дата звернення: 12.02.2026)
2. P.K. Mallick Fiber-reinforced composites. Materials, Manufacturing, and Design. 3th Ed. 2008. Boca Raton. DOI: https://doi.org/10.1201/9781420005981. 638 p.
3. Ronald F. Gibson Principles of Composite Material Mechanics. 4th Ed. 2016. Boca Raton. DOI: https://doi.org/10.1201/b19626. 700 p.

ВПЛИВ ВІБРАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ МАШИННОГО ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ В УМОВАХ БЕЗПЕРЕРВНИХ ВИРОБНИЧИХ ЛІНІЙ

Студент Ніколаєнко Д. П., доцент Кухар В.Ю.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

У сучасному машинобудівному виробництві автоматизовані безперервні виробничі лінії є основою забезпечення високої продуктивності та стабільності якості продукції. Одним із ключових елементів контролю якості на таких лініях є системи машинного візуального контролю (рис. 1), що дозволяють здійснювати перевірку конструктивних елементів виробів у режимі реального часу без залучення оператора [1, 2].

Рис. 1
Джерело: http://bit.ly/4kE6D9k

Ефективність функціонування систем машинного зору безпосередньо залежить від стабільності просторового положення об’єкта контролю відносно оптичної системи. Алгоритми обробки зображень передбачають наявність чітких контурів, сталих геометричних параметрів та прогнозованих умов освітлення. Порушення цих умов може призводити до спотворення зображення та зниження достовірності результатів контролю [1].

В умовах безперервного транспортування виробів по конвеєрних системах виникають вібраційні впливи, обумовлені роботою приводів, передачею динамічних навантажень через конструкцію обладнання та взаємодією рухомих елементів. Навіть за відсутності видимих коливань можливі мікровібрації, які впливають на стабільність положення виробу у зоні зйомки.

Мікроколивання можуть спричиняти зменшення різкості зображення, появу змазаних контурів, зміну координатного положення об’єкта у кадрі та виникнення похибок при розпізнаванні елементів (рис. 2). У випадках контролю

дрібних або геометрично складних деталей навіть незначні вібраційні зміщення можуть істотно впливати на результати автоматизованої оцінки якості [2].

Рис. 2

Зниження якості первинного зображення призводить до підвищення ймовірності хибних спрацювань системи контролю або пропуску потенційних дефектів. Це негативно позначається на ефективності виробничого процесу, збільшує витрати часу на повторні перевірки та може знижувати загальну надійність системи забезпечення якості [3].

Таким чином, вплив вібраційних факторів на процес машинного візуального контролю в умовах безперервних виробничих ліній є актуальною інженерною проблемою. Необхідним є подальший аналіз взаємозв’язку між характеристиками вібраційних впливів та параметрами якості зображень, а також формування підходів до підвищення стабільності та достовірності автоматизованого контролю без втручання у технологічні процеси виготовлення виробів.

Література

1. Davies E. R. *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities.* – 5th ed. – Academic Press, 2018. – 861 p. (дата звернення 07.02.2026)
2. Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. *Machine Vision Algorithms and Applications.* – Wiley-VCH, 2018. – 475 p. (дата звернення 09.02.2026)
3. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. – International Organization for Standardization, 2015. (дата звернення 11.02.2026)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ УКЛАДАННЯ СТАЛЕВОГО КАНАТА НА КАНАТОМІСТКИЙ БАРАБАН У СЕРЕДОВИЩІ CAD/CAE

Професор Заболотний К.С., доцент Панченко О.В.,
аспірант Гайдар В.В.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Актуальність проблеми. Сучасне машинобудування функціонує в парадигмі цифрового інжинірингу, у межах якої традиційне креслярське проєктування поступається місцем інтегрованому параметричному 3D-моделюванню та чисельній верифікації технічних рішень. Для підйомно-транспортних машин така трансформація має особливе значення, оскільки помилки у конструктивних вузлах можуть спричиняти системні наслідки, що впливають на безпеку та довговічність експлуатації. Одним із критичних елементів підйомних установок є процес укладання сталевого каната на канатомісткий барабан. Геометрія профільованої поверхні барабана безпосередньо визначає характер контактної взаємодії в системі «канат – канавка – сусідній виток», впливаючи на довжину контактної області, приведену кривизну осі каната, стабільність кроку укладання та ризик локальних перевантажень. Це зумовлює необхідність використання інструментарію CAD/CAE для формування цифрової моделі процесу.

Аналіз стану досліджень. У попередніх дослідженнях сформовано теоретичні засади оптимізації профільованої поверхні канатомістких барабанів, зокрема:

- розроблено алгоритмічні підходи до вибору геометричних параметрів профілю [1];
- побудовано розширені моделі намотування та отримано аналітичні залежності контактних характеристик від параметрів профілю [1];
- систематизовано принципи розрахунку та конструювання канатомістких барабанів [2].

Разом з тим, наявні підходи переважно орієнтовані на аналітичну формалізацію або часткову чисельну перевірку параметрів і не забезпечують інтеграції в замкнений цифровий цикл «геометрія – моделювання укладання – оцінювання критеріїв – оптимізація» у середовищах сучасних CAD/CAE-систем.

Стандартний функціонал CAD/CAE (зокрема параметричне моделювання та базові засоби чисельного аналізу) не містить спеціалізованого інструмента для комплексного віртуального тестування процесу укладання каната як окремого об’єкта проєктного контролю.

Формулювання науково-технічної задачі. У зв’язку з викладеним постає науково-технічна задача: сформувати постановку задачі цифрового моделювання та оптимізації процесу укладання сталевого каната на канатомісткий барабан у середовищі CAD/CAE з урахуванням нелінійної контактної взаємодії та багатофакторного впливу геометричних параметрів профілю.

Об'єкт дослідження — процес укладання сталевого каната на профільовану поверхню канатомісткого барабана підйомної машини.

Предмет дослідження — закономірності взаємозв'язку між геометричними параметрами профілю канавки барабана та функціями стану процесу укладання, визначеними на основі цифрового моделювання у CAD/CAE-середовищі.

Мета дослідження є формування теоретичних і прикладних засад цифрового опису процесу укладання каната, які дозволяють:

- інтегрувати параметричну 3D-модель барабана з моделлю процесу намотування;
- формалізувати систему функцій стану (крок укладання, довжина контактної області, приведена кривизна осі каната тощо);
- підготувати основу для подальшої побудови оптимізаційної моделі.

Основні завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Проаналізувати геометричні та контактні параметри системи «канат – канавка – виток» у 3D-постановці.
2. Сформувати цифрову модель просторової траєкторії витків каната.
3. Визначити параметри та граничні умови нелінійної контактної взаємодії.
4. Формалізувати систему критеріїв якості укладання.
5. Сформувати структуру майбутньої оптимізаційної моделі в межах CAD/CAE-середовища.
6. Визначити вимоги до програмної реалізації автоматизованого робочого місця конструктора.

Очікуваним результатом на даному етапі є:

- формалізована постановка задачі цифрового моделювання укладання каната;
- структурована система параметрів, функцій стану та обмежень;
- концептуальна схема інтеграції моделі в CAD/CAE-середовище;
- підґрунтя для подальшого розроблення методики та програмного інструментарію.

Висновки. У роботі здійснено обґрунтування та формалізацію постановки задачі цифрового моделювання й оптимізації процесу укладання сталевого каната на канатомісткий барабан. Показано, що існуючі аналітичні та частково чисельні підходи не забезпечують повноцінного цифрового циклу проєктування, що актуалізує необхідність подальшого розроблення інтегрованої методики та програмної реалізації у середовищі CAD/CAE.

Література

1.Москальова Т.В. Алгоритм вибору параметрів профільованої поверхні канатомістких барабанів шахтних підіймальних машин // *Гірничі машини та електромеханіка*. – 2010. – №4. – С. 15–22.

2.Заболотний К.С., Жупієв О.Л., Симоненко В.В. Розробка теорії розрахунку і конструювання розрізних канатомістких барабанів шахтних підіймальних машин : монографія. – Дніпро : НТУ «ДП», 2016. – 286 с.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ВИЩИХ КЛАСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Доцент Мацюк І.М., старший викладач Твердохліб О.М.,
старший викладач Вернер І.В.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Плоскі механізми третього класу широко застосовуються в машинобудуванні [1], оскільки групи Ассура забезпечують складні перетворення руху та точні кінематичні залежності. Такі механізми використовують у приводах технологічного обладнання, регуляторах, маніпуляторах та інших системах, де потрібна надійність і керованість руху. Вони належать до механізмів вищих класів, а їх робота визначається системою геометричних обмежень, що описуються нелінійними рівняннями положення.

Характерним прикладом є кулісно-важільний механізм із пласким повзуном, який містить кривошип, кулісу, повзун і вихідну ланку. Взаємодія куліси з повзуном утворює групу Ассура третього класу, для якої положення ланок визначаються двома незалежними рівняннями. Такі механізми застосовують у копірових пристроях, механізмах подачі та маніпуляційних системах для перетворення обертального руху в поступальний або складний просторовий.

Іншим прикладом є важільний механізм типу «повітряна засувка», що складається з вхідного важеля, проміжної ланки та двох тяг, які формують групу Ассура третього класу. Подібні механізми забезпечують кероване обертання вихідної ланки й застосовуються в системах регулювання потоків у промисловості, енергетиці та авіації, де точність кінематики визначає ефективність роботи.

Кінематичний аналіз таких механізмів базується на системі нелінійних тригонометричних рівнянь. Графоаналітичний метод передбачає побудову геометричних планів і використання подібності трикутників, однак його точність обмежується якістю креслення та масштабними похибками, а ефективність знижується зі збільшенням числа ланок.

Аналітичний метод оперує математичними рівняннями положення, що розв’язуються числовими алгоритмами. У середовищі Mathcad ці рівняння легко задаються й обчислюються, що забезпечує високу точність, повторюваність результатів і дає можливість виконувати параметричні дослідження без масштабних похибок.

Порівняння методів показує, що графоаналітичний підхід доречний лише для початкових оцінок, тоді як аналітичний метод значно точніший, зручніший та краще підходить для сучасних інженерних розрахунків. Завдяки автоматизації та можливості моделювання він є основним способом аналізу плоских важільних механізмів третього класу.

Література

1. Кінденко, М. І. (2021). Теорія механізмів і машин: Навчальний посібник. Краматорськ: ДДМА. 82 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ЖОРСТКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГУМОМЕТАЛЕВИХ ОПОР ГРОХОТА-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

Аспірант Гавриленко С.С.
НТУ «Дніпровська політехніка»

Вібраційний колосниковий грохот-перевантажувач у процесі роботи здійснює коливальний рух робочих органів, а пружні елементи підвіски істотно впливають на динамічний режим системи [1]. Гумометалеві опори забезпечують пружний зв'язок між колосниками та несучою конструкцією, знижують передачу динамічних навантажень на основу, а також визначають жорсткісні параметри, що входять до рівнянь руху установки. У зв'язку з цим коректне визначення еквівалентних жорсткостей гумометалевих опор є необхідним етапом побудови математичної моделі та подальшого аналізу амплітудно-частотних характеристик грохота-перевантажувача [1, 3].

Метою даної роботи є визначення еквівалентних жорсткісних характеристик гумометалевих опор у проєкціях на глобальні осі координат x (горизонтальний напрямок) та y (вертикальний напрямок) для подальшого використання в моделі коливального руху колосників. При побудові розрахункової схеми гумометалева опора розглядається як пружний елемент, що працює на зсув і стиск, а її конструктивна орієнтація враховується кутом встановлення α. Розрахункова схема опори з основними параметрами та діючими силами наведена на рис. 1.

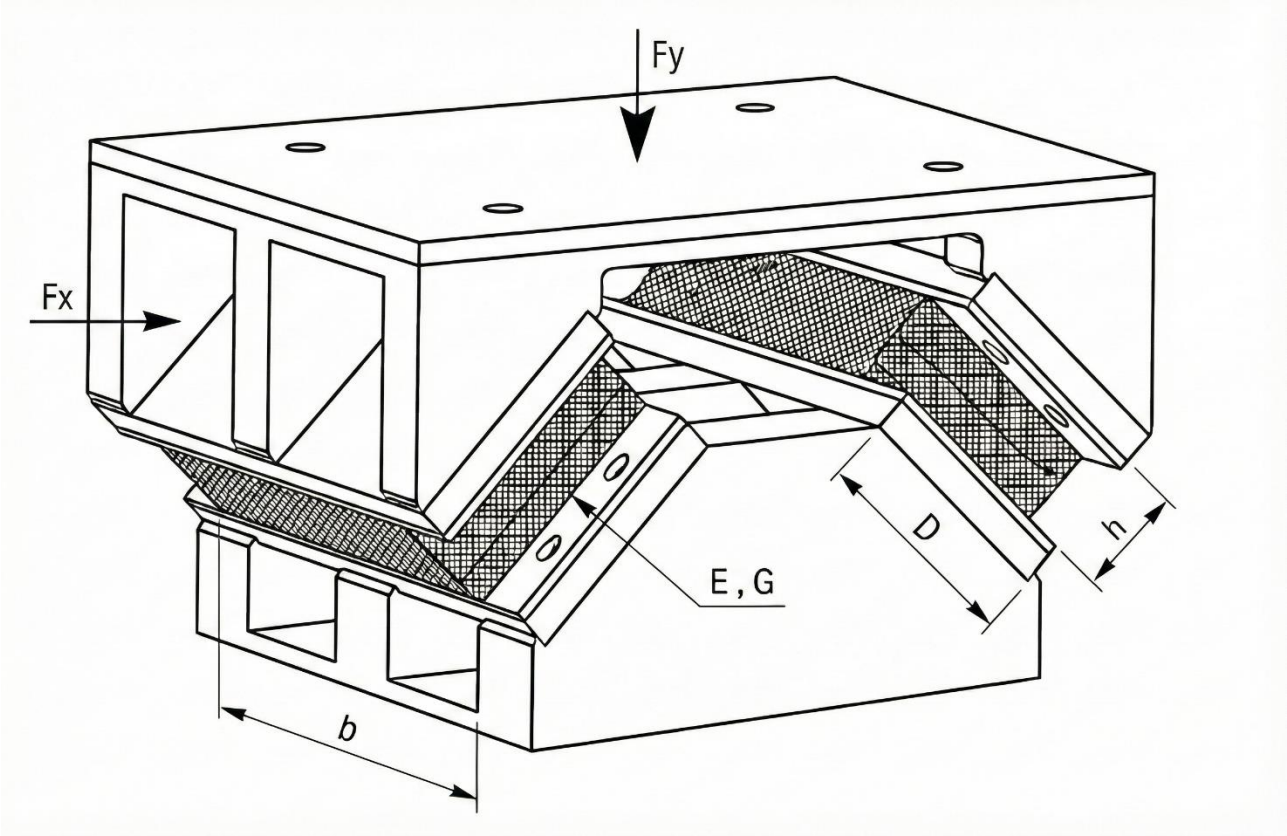


Рис. 1

Сформована розрахункова модель опори ґрунтується на припущеннях малих деформацій, однорідності та ізотропності гумового шару, а також квазістатичному характері деформування в межах одного циклу коливань. У межах даної постановки опора розглядається як пружний елемент із лінійною силовою характеристикою в робочому діапазоні деформацій, що є достатнім для отримання еквівалентних параметрів системи та подальшого аналізу її власних частот і амплітуд [2, 3]. Прийняті припущення дозволяють перейти від реальної просторової роботи гумометалевого вузла до еквівалентного подання в системі координат *x* та *y*, придатного для використання в рівняннях руху.

Опору подано у вигляді гумового шару, який жорстко з'єднаний з металевими елементами. Основними геометричними параметрами є товщина гумового шару *h*, довжина робочої (контактної) ділянки *D* та ширина опори *b*. Ефективна площа контакту позначається *F* і в інженерних оцінках визначається за геометричними розмірами контактної поверхні. Механічні властивості гумового шару характеризуються модулем зсуву *G* та модулем пружності *E*. У загальному випадку деформований стан опори при роботі грохота є комбінованим: при дії горизонтальних зусиль F_x переважає зсув, а при дії вертикального навантаження F_y – стиск. За прийнятої орієнтації опори під кутом $\alpha = 45°$ у пружній реакції опори присутні обидві складові, тому еквівалентні жорсткості доцільно визначати у проєкціях на осі *x* та *y*.

Для оцінювання горизонтальної жорсткості в напрямку x основним є опір зсуву гумового шару. За припущення малих деформацій і лінійної пружної поведінки опори, жорсткість однієї опори при зсуві визначають як

$$C_x^{(1)} = \frac{GF}{h}.$$

Дана залежність відображає фізичний зміст: зі збільшенням площі контакту *F* та модуля зсуву *G* жорсткість зростає, а зі збільшенням товщини гумового шару *h* – зменшується. Якщо одночасно працює *k* однакових опор, з'єднаних паралельно, еквівалентна жорсткість у напрямку *x* дорівнює сумі жорсткостей окремих елементів:

$$C_x = \sum_{i=1}^{k} C_{x,i} = kC_x^{(1)} = \frac{k\,G\,F}{h}.$$

де *k* — кількість опор, що одночасно сприймають деформацію.

Для вертикального напрямку у основним є опір стиску гумового шару. У наближеній інженерній постановці жорсткість однієї опори при стиску записують як:

$$C_y^{(1)} = \frac{EF}{h},$$

а для *k* паралельно працюючих опор:

$$C_y = \sum_{i=1}^{k} C_{y,i} = kC_y^{(1)} = \frac{k\,E\,F}{h}.$$

Разом з тим, через кутове встановлення опори, вертикальна реакція містить також складову, пов'язану із зсувною деформацією. У загальному випадку еквівалентна вертикальна жорсткість може розглядатися як сума приведених складових стиску та зсуву, отриманих проєкціюванням на вісь y. Для $\alpha = 45°$ внесок обох складових є порівнюваним, тому в моделі доцільно враховувати комбінований характер деформування опори, що підвищує адекватність опису реальної роботи пружної підвіски [2].

Конструктивно кожен колосник спирається на чотири гумометалеві опори (по дві з лівого та правого боків). Для крайніх колосників опори мають однакові геометричні та механічні характеристики, а кожна пара опор може бути приведена до одного еквівалентного пружного елемента в рамках плоскої моделі коливань. Для середнього колосника жорсткісні характеристики опор можуть бути підвищеними через більшу масу колосника та особливості розташування опор, що в розрахунках враховується відповідним значенням коефіцієнта k (наприклад, $k = 4$). Таке приведення дозволяє отримати узгоджені параметри пружної системи та забезпечує можливість порівняння різних конструктивних варіантів підвіски.

Отримані еквівалентні жорсткості гумометалевих опор використовуються при формуванні потенціальної енергії пружної системи та входять до рівнянь руху грохота-перевантажувача, складених за рівняннями Лагранжа другого роду [2]. Жорсткісні параметри визначають пружні сили взаємодії між колосниками та опорною конструкцією і, таким чином, безпосередньо впливають на власні частоти, амплітуди та характер коливань установки. Це, у свою чергу, є базою для подальшого аналізу амплітудно-частотних характеристик, вибору раціональних параметрів підвіски та оцінювання динамічної навантаженості елементів грохота-перевантажувача у нестаціонарних режимах роботи [1].

Література

1. Потураєв В.Н., Франчук В.П., Франчук Л.А. Динамический расчет колосникового грохота-перегружателя // Динамика и прочность горных машин: науч.-техн. сб. К.: Наукова думка, 1974. Вып. 2. С. 58–68.

2. Wang, X., Zhang, Y., Liu, H., & Chen, J. (2021). Dynamic modeling of vibrating screens based on Lagrange method. Mechanical Systems and Signal Processing, 154, 107544. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.107544

3. Franchuk, V., Antsiferov, O., & Shkut, A. (2023). Dynamics of a vibrating screen with two motor-vibrators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1348, 012063. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012063

РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ДЕБАЛАНСУ ІНЕРЦІЙНОГО ПРИВОДУ

Студент Галаницький Д.Є., доцент Анциферов О.В.
НТУ «Дніпровська політехніка»

В якості привода багатьох вібраційних машин використовують інерційний механізм з неврівноваженим елементом –дебалансом (рис. 1).

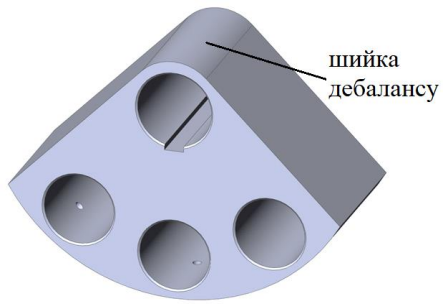


Рис. 1

Перевірка дебалансу на міцність зводиться до розрахунку напруги в найтоншій частині стінки дебалансу навколо отвору для валу. Ця частина називається шийкою дебалансу. Задача розглядається в статичної постановці для циліндра, навантаженого внутрішнім тиском. Задача визначення напружень і переміщень в товстостінному циліндрі носить назву задача Ламе, на ім'я вченого XIX століття, що дав її рішення.

Розглянемо кільцем шириною t, що відповідає товщині дебалансу в районі шийки. Відцентрова сила P, що розвивається дебалансом, замінюється внутрішнім тиском p. При цьому в циліндрі за його товщиною виникають радіальні $\boldsymbol{\sigma_r}$ і окружні $\boldsymbol{\sigma_t}$ напруження. Окружна напруга є розтягувальна а радіальна стискаюча.

У внутрішній поверхні кільця $\boldsymbol{\sigma_t}$ досягає максимального значення [1]

$$\sigma_t = p\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}, \tag{1}$$

де r – внутрішній радіус шийки дебалансу; R – зовнішній радіус.

Радіальне напруження у внутрішній поверхні дорівнює $-p$.

Визначимо внутрішній тиск p. На шийку дебалансу діє збурююча сила P. Якщо в думці розрізати кільце по горизонталі, то половина зусилля P врівноважиться напруженням $\boldsymbol{\sigma_t}$, розподіленим по площі його дії

$$0{,}5\,P = \sigma_t\ t\ (R - r). \tag{2}$$

За теорією найбільших дотичних напружень

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_t - (-p), \tag{3}$$

Підставляємо сюди (1) і з урахуванням (2) отримуємо

$$\sigma_{\text{екв}} = P\frac{2R^2}{t\ (R^2 + r^2)\ (R - r)}, \tag{4}$$

За визначеними силовими і геометричними величинами розраховуємо еквівалентну напругу. Далі перевіряємо її на допустиму напругу для матеріалу дебалансу. Повинна виконуватися умова $\sigma_{\text{екв}} < [\sigma]$.

Література

1. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів / В. І. Шваб'юк. – Київ.: Знання, 2016. – 407 с.

РОЗРАХУНОК ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОГО ЖИВИЛЬНИКА

Студент Кожевников М.П., доцент Анциферов О.В.
НТУ «Дніпровська політехніка»

В якості пружної системи багатьох вібраційних машин використовують пружні елементи із гуми або поліуретану. Прикладом такої машини є вібраційний живильник, призначений для випуску гірської маси (рис. 1).

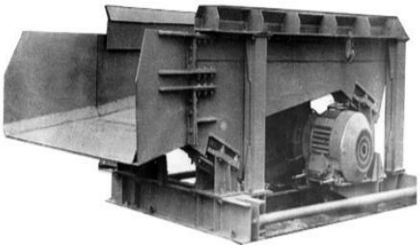


Рис. 1

При проєктуванні і розрахунку грохота з інерційним приводом особлива увага повинна приділятись ділянці проходження через резонанс за час його вибігу після вимкнення живлення. У практиці відомі випадки, коли за амплітуди усталеного руху 3 мм амплітуди коливань в період вибігу досягали 60-70 мм. При цьому внаслідок великих деформацій пружних зв'язків виникають різкі поштовхи короба грохоту, які сприймаються деталями короба як ударне навантаження.

Пружна система живильника представлена чотирма несучими гумометалевими елементами. Проведено розрахунок їх за стандартною методикою. При цьому було враховано статичне навантаження від маси коливальної частини (лоток з інерційним вібратором) і технологічне навантаження (гірська маса).

Проведена оцінка жорсткості елементів у горизонтальному напрямку. Поперечна (горизонтальна) жорсткість пружин визначалась за формулою [1]

$$\frac{c_x}{c_y} = 2\,(1+\mu),$$

де c_x, c_y – горизонтальна і вертикальна жорсткості пружнихелементів;

μ – коефіцієнт Пуассона.

При статичному навантаженні пружні елементи працюють на стиск і частково на зсув. При дії збуруючого навантаження вони працюють на зсув.

При відомій жорсткості пружної системи живильника і масі коливальної частини визначається власна частота коливань ω_0.

Частота збурюючого навантаження визначається частотою коливань приводу ω = 100 рад/с (16 Гц).

Більшість вібраційних машин технологічного призначення (млини, грохоти, живильники і т. п.) працюють у зарезонансній зоні. При цьому рекомендується відношення робочої частоти до власної у межах 2-3. За нашими розрахунками отримано значення $\omega/\omega_0 = 2{,}53$, тобто умова не попадання в зону резонансу виконана.

Література

1. Коноваленко В.В., Пополов Д.В., Зайцев Г.Л., Засельский И.В. К расчету горизонтальной жесткости винтовых цилиндрических пружин. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, 35. –2017. – С. 110-117.

APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING TECHNOLOGIES FOR THE STRUCTURAL RESTORATION OF THE IB61 LATHE FEED BOX

Student Ivanenko I.V.
Scientific Supervisor Shkut A.P., Ph.D.
Dnipro University of Technology

The application of reverse engineering technologies for the digital reconstruction of the IB61 screw-cutting lathe is considered. Machines of this type were used for a long time in training workshops and repair shops; however, today their technical documentation is often lost or outdated. At the same time, such units have significant potential for studying kinematic schemes, analyzing mechanical transmissions, and creating educational virtual simulators. Therefore, the task of digital reproduction of the machine's design for further modernization or integration into digital learning environments is relevant.

An analysis of literary sources showed that modern approaches to reverse engineering in mechanical engineering are actively used for the reconstruction of equipment parts and assemblies for which technical documentation is lost or unavailable. Works by foreign and Ukrainian authors note the use of photogrammetry, 3D scanning, and parametric modeling as the main methods for reproducing complex geometry and mechanism kinematics. Most research is dedicated to the restoration of individual parts—gears, housing elements, shafts—whereas the reconstruction of full-scale machine tools is encountered much less frequently due to the complexity of kinematic structures. In this context, the digital restoration of the IB61 screw-cutting lathe is a relevant contribution to the field of digital restoration of training and production equipment.

The IB61 machine belongs to universal screw-cutting lathes and allows for a wide range of technological operations: turning, boring, facing, cutting off, drilling, and cutting metric and inch threads. The maximum processing diameter over the bed is 320 mm, over the carriage is 160 mm, and the maximum workpiece length, depending on the modification, is 710 or 1000 mm. The diameter of the bar that can pass through the spindle is 32 mm. Structurally, the machine consists of a headstock, a speed gearbox, a feed box, a carriage, an apron, a tailstock, and a bed. The headstock contains a spindle driven by a 4.5 kW electric motor and provides 24 speeds in the range of 16–2000 rpm. The feed box is responsible for forming longitudinal and transverse feeds, as well as selecting thread pitches, implemented via the lead shaft and lead screw. The carriage has a cross structure and ensures precise movement of the cutter, while the apron contains auto-feed mechanisms and interlocking devices that guarantee operational safety. Thus, the general design of the IB61 machine is a classic example of turning equipment with a full set of kinematic links characteristic of universal type machines.

The aim of the research is to create a parametric three-dimensional model of the IB61 screw-cutting lathe using the reverse engineering method with partial detailing of individual units, specifically the feed box. The object of the research is the IB61 machine itself, and the subject is the process of its digital reconstruction based on measurements, photographic data, and CAD modeling.

The methodology included several stages. First, a visual-geometric analysis of the machine was conducted, defining the main units and connection types in the kinematic chain. Next, a conceptual 3D model was built in the SolidWorks environment based on geometric measurements obtained directly from the physical sample. Particular attention was paid to modeling the feed box, for which a refined structural model of the housing, shafts, gears, and shifting mechanism was created. Based on the developed models, a kinematic scheme was built to verify the correctness of rotation transmission and the possibility of creating an animation of the mechanism's operation.

As a result, a three-dimensional model of the IB61 machine with basic kinematic links and a detailed model of the feed box was created, allowing for the demonstration of speed shifting principles (Fig. 1). The obtained data serves as a basis for further expansion of the model towards forming a digital twin or VR visualization of the part machining process.

A step-by-step reverse engineering algorithm was developed to restore the geometry of machine tools without complete technical documentation. A hybrid approach combining photogrammetric methods with parametric CAD modeling is proposed.

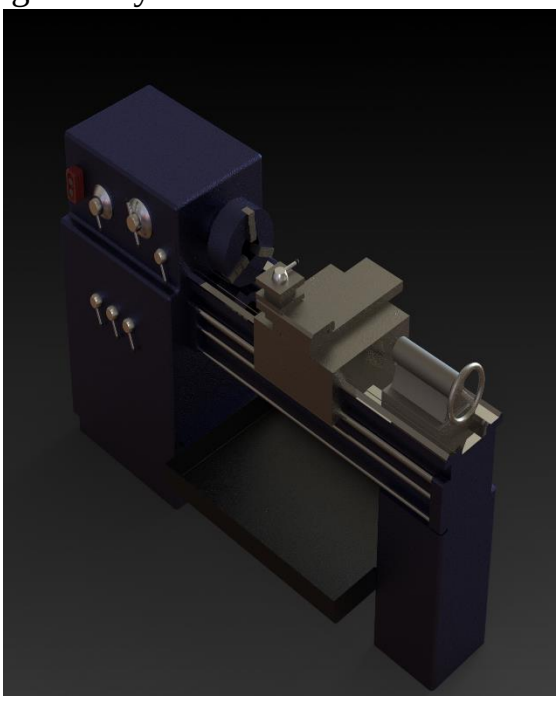


Fig. 1

The practical significance of the results lies in the possibility of using the created model for student training, preparing technical documentation, developing VR/AR simulators, or 3D printing individual parts. Further research will be directed at dynamic modeling of unit operation in SolidWorks Motion, conducting FEM analysis of the box housing to assess the stress-strain state, and integrating the model into a virtual environment to create an interactive educational simulator.

References

1. Kurowski Paul, Ph.D., Eng P. (2023). Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2023. USA: SDC Publications.
2. Vinesh R. et al. “A Review on Reverse Engineering Process and its Applications,” Procedia Engineering, 2016, 149: 144–152.

PROSPECTS FOR RECYCLING REINFORCED CONCRETE WASTE FROM DESTROYINGS IN THE AREA OF ITS FORMATION

Associate Professor Fedoskina O.V., Assistant Erisov M.M.,
Associate Professor Fedoskin V.A.
Dnipro University of Technology

Millions of tons of waste are generated in Ukraine annually, the recycling of which has been a major problem. Russia's aggression has added to this figure hundreds of thousands of tons of demolition waste generated during the destruction of cities, partially or completely destroyed buildings and infrastructure, which has sharply exacerbated the previously existing problem of solid waste management. Such a huge amount of waste generated in a relatively short time cannot be processed at existing sorting stations and enterprises.

There are two ways to manage waste: disposal to landfills or processing into secondary raw materials for use in the restoration of damaged facilities and the construction of new buildings. Both ways are problematic. The problem of disposal lies in the lack of landfills, the loss of huge areas, and the negative impact on the environment. The problem of processing lies in the lack of mobile small-sized equipment. Existing mobile crushing plants are focused on processing with a capacity of tens of tons per hour, which requires a special site for the accumulation of sorted material.

When demolishing buildings, the waste generated contains approximately 52% concrete and reinforced concrete, 32% - stone wall materials (bricks, wall blocks, foam and aerated concrete), 8% - asphalt and mortars, 4% - metals, 2% - wood and plastics, 1% - ceramics, 1% - drywall, glass and other waste.

Dnipro University of Technology has created small-sized experimental equipment, on which technological tests of recycling drywall, glass containers, bricks, ceramics, and glass panes have been successfully conducted.

The objective of this study is to obtain initial data for analyzing the efficiency of using a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber for recycling reinforced concrete products and to develop a small-sized mobile crushing plant.

Crushing was performed using a laboratory prototype of a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber and a wide range of adjustable parameters. Reinforced concrete waste was crushed, measuring 0.13 m in width (the width of the crushing chamber), 0.1 m in height, and 1 m in length. The initial pass of the feedstock through the crushing chamber separated the metal portion and concrete pieces up to 50 mm in size. The concrete fraction was re-crushed and separated into commercial aggregate and cement binder, which was then crushed to a fine-grained fraction suitable for mixing with cement mortar.

The innovative laboratory installation and the results obtained show the relevance and prospects of creating a mobile small-sized mobile line for processing reinforced concrete waste.

РОЗРОБКА БОРТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА

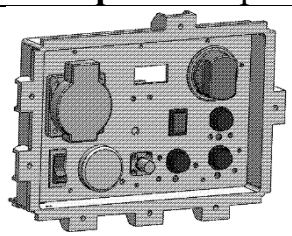
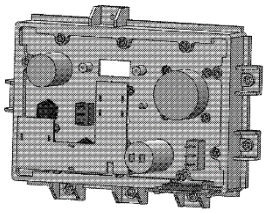
Студент Акулінін Д.Р., професор Заболотний К.С. (керівник)
НТУ «Дніпровська політехніка»

Вступ. Це апаратний пристрій, який складається із джерела інформації та буферу. Задача джерела інформації надати первинні данні до буферу, який вже (буфер) зворотнім зв'язком віддає інформацію до основного джерела , яка вже прийнятна для споживача.

Метою роботи є розробка та створення відповідного функціонального блоку який керує прийомом та передачею інформації відповідно потребам БПЛА та забезпечує відповідне живлення додаткових систем.

Труднощі при створені таких блоків боротьба із наводками (внутрішніми) вирішення – розташування у відповідному порядку, екранування. При цьому дотримуватися мобільності при зборці розборці конструкції для подальшого обслуговування.

Розробка борт було розроблено у САПР SW2022 (рис.1).

	Вигляд спереду		Вигляд ззаду
Рис. 1 – Тривимірна модель головної панелі керування (SW2022)			

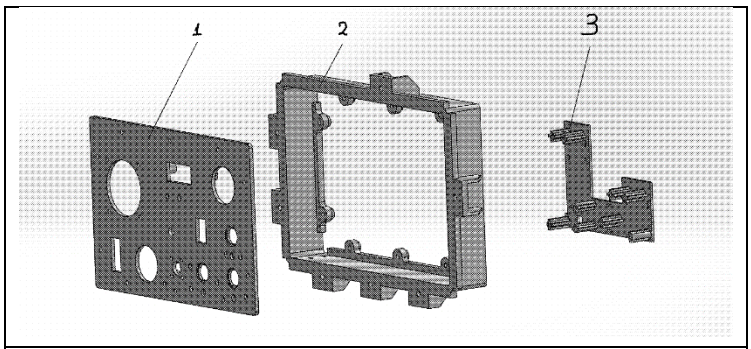


Рис. 2 – Складові вузла

Ідея розробки – відокремити цифрову (те що відповідає за обробку) від силової, зберігаючи логічну послідовність. Роз'єми деталей вузла відображено на (рис. 2).

Головна панель *1* необхідна для утримання блоків відносно себе, а також забезпечує логічну послідовність розміщення. Тримач *2* забезпечує відповідну жорсткість конструкції. Тримач плат *3* забезпечую фіксацію плат і вирішує проблеми: довжини дротів з'єднання із роз'ємом і модульність зборки. Зазначимо, що при повній наявності електронної складової блоку він все одно розбирається, як показано на рис. 2.

Висновки.

1. Створено 3д модель у САПР SW2022
2. Методом проб та помилок та спираючись від маючого досвіду було створено фінальну модель

Література

1. Planchard, D.C. (2024). *SOLIDWORKS 2024 Quick Start.* Boston: SDC Publications.

УЧАСТЬ У КОНКУРСІ BRAVE1 – КОНЦЕПЦІЯ

Студент Акулінін Д.Р., професор Заболотний К.С. (керівник)
НТУ «Дніпровська політехніка»

ТЗ – створити насадку для дрона, яка не вимагає споживання електроенергії і при цьому виконує роль лап захвату (за прикладом, як це здійснюється у птахів).

Ідея – створити механізований прилад який має алгоритм та працює від контролера із відповідною кінематичною складовою структурна схема зображена на рис.1.

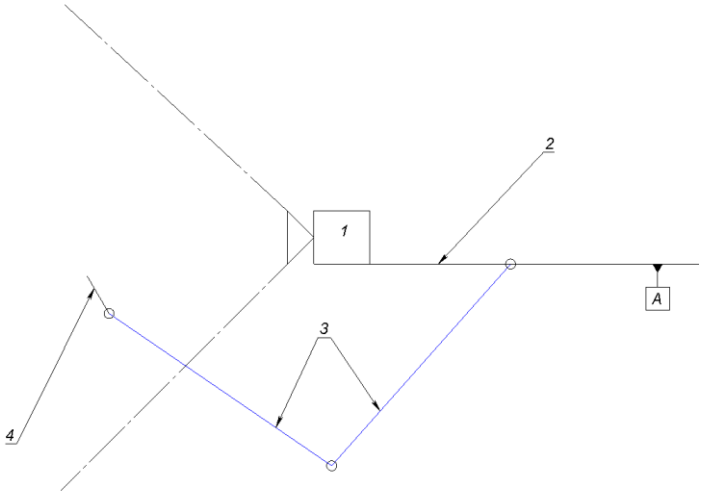


Рис. 1 – Спрощений ескіз концепції
1 – FPV камера, 2 – кріпильна рама, 3 – опори, 4 – захватній блок

Опис. Камера FPV має бути у полі зору захватного блоку, оператор FPV *1* має підлетіти до певної відстані якщо датчикі дозволяють (вивід інформації на OSD), визвати з пульта команду захвату, після чого алгоритм має спрацювати на затиснення, наступним чином кріпильна рама *2* має стати у робоче положення, або база *A* повинна бути встановлена на певний кут відносно землі (відштовхуючись від датчику гіроскопу-акселерометру).

Технічні особливості. Основна конструкція має бути виконана із PETG пластику, елементи звхвату, що контактують із гілкою захватного блоку – із металу, кріплення вузлів за стандартами. Реалізація повороту вузлів буде підібрана із двигуно-кінематичних рішень: FOC, Servo, DC, механічне: gimbal. Троси буде підібрано дослідним шляхом з урахуванням самогальмівних механізмів, та обмежень за часом.

Висновок: створено концепцію проєкту, що може бути прийнята за основу.

Література

1. Planchard, D.C. (2024). *SOLIDWORKS 2024 Quick Start.* Boston: SDC Publications.

ON THE INFLUENCE OF LOCAL CHANGES IN TIME DENSITY IN THE VICINITY OF EXOTHERMIC AND ENDOTHERMIC REACTIONS ON THE RATE OF BACTERIAL REPRODUCTION

[1]Larionov Myckola, [1]Larionov Hrihorij, [2]Voloshko Viktor
[1]M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine
[2]Oles Honchar Dnipro National University

The physical nature of time remains one of the most fundamental unresolved problems in modern science. While classical physics treats time as an independent parameter, alternative frameworks propose that time itself may be an active process. Among these, Kozyrev's hypothesis holds a prominent position, suggesting that time is a real physical agent capable of exerting measurable influence on material systems. Despite its controversial status, his approach motivated several attempts to test nontraditional models of time.

Biological systems provide sensitive indicators of subtle environmental influences. Microorganisms, in particular, are advantageous experimental objects because their growth dynamics can be quantified objectively, without interference from consciousness or higher neural regulation. In this study, bacterial reproduction was used as a probe to test the hypothesis that local changes in time density, induced by nearby chemical reactions, can modulate biological processes. Exothermic and endothermic reactions were selected as sources of such localized perturbations, as they represent fundamental mechanisms of energy exchange ubiquitous both on Earth and in extraterrestrial environments.

The experimental results suggest that bacterial growth rates may indeed be influenced by the energetic context of their environment. This observation is consistent with the hypothesis that time, if considered as an energy–informational interaction, is locally modifiable through chemical processes. While the magnitude of the observed effects requires further verification and replication, the findings point to a potentially overlooked mechanism linking fundamental physics and biology.

In the context of human spaceflight, such mechanisms could acquire practical significance. Astronauts are known to experience perceptual and cognitive disturbances, including hallucinations, during extended missions. If exothermic processes in extraterrestrial environments, such as solar radiation or cosmic energetic interactions, contribute to local changes in time density, this may represent a novel factor affecting neurophysiological stability in space. Future studies should therefore combine controlled laboratory experiments with biological and physical measurements in analog and space environments.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЛИВАНЬ ОБЛАДНАННЯ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ДЖЕРЕЛ ЕКСТРЕНОГО ОПОВІЩЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Доктор фіз-мат. наук, професор Пасічник А. М., аспірант Ріпа М. Ю.
Дніпровський державний технічний університет

Підвищення ефективності роботи обладнання з генерації звукових сигналів в системах екстреного оповіщення є однією із основних умов своєчасного попередження населення у разі надзвичайних ситуацій. Вимушені коливання, що виникають в таких системах можуть суттєво збільшити рівень механічних навантажень, особливо у випадках резонансу. Тому достовірна оцінка амплітуди та частоти коливань відповідного обладнання має важливе значення для застосування ефективних методів його віброізоляції та забезпечення надійності роботи.

Для виконання поставленого завдання розглядається модель механічної системи з двома степенями свободи, рис. 1.

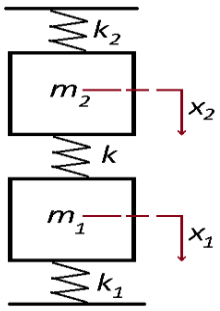


Рис. 1.

У відповідності з обраною моделлю маси m_1 и m_2 мають пружне закріплення з коефіцієнтами k_1 і k_2 та пружно з'єднані між собою зі сталою пружністю k. Положення мас відносно початкового стану визначаються через незалежні переміщення x_1 і x_2 у вертикальній площині. Нехтуючи коефіцієнтом згасання r, потенціальна енергія такої консервативної системи може бути представлена так:

$$W_п = \frac{1}{2}k_1x_1^2 + \frac{1}{2}k_2x_2^2 + \frac{1}{2}k(x_1 - x_2)^2. \quad (1)$$

Оскільки зовнішні сили, що впливають на систему, є похідними потенціальної енергії за відповідним параметром взятим з протилежним знаком, то рівняння Лагранжа для наведеної моделі запишуться так:

$$\begin{cases} m\frac{d^2x_1}{dt^2} = -\frac{dW_п}{dx_1} = -k_1x_1 - k(x_1 - x_2); \\ m\frac{d^2x_2}{dt^2} = -\frac{dW_п}{dx_2} = -k_2x_2 - k(x_1 - x_2). \end{cases} \quad (2)$$

Покладаючи, що маси m_1 та m_2 здійснюють гармонійні коливання з різними амплітудами, але з однаковою частотою ω із системи рівнянь (2) отримуємо такий вираз для визначення власної частоти коливань системи :

$$(\omega_0', \omega_0'') = \sqrt{\frac{1}{2}\left[(\omega_1^2 + \omega_2^2) \pm \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\mu^2\omega_1^2\omega_2^2}\right]}, \quad (3)$$

де ω_1и ω_2 – частоти власних коливань.

$$\omega_1^2 = \frac{k_1+k}{m_1};\ \omega_2^2 = \frac{k_2+k}{m_2}; \quad (4)$$

μ – коефіцієнт зв'язку, який визначається так:

$$\mu = \frac{k}{\sqrt{(k_1+k)(k_2+k)}}. \quad (5)$$

З аналізу співвідношення (3) випливає:

1) Система яка складається із двох взаємопов'язаних тіл, що здійснюють коливальний рух – має дві частоти власних коливань (ω'_0та ω''_0).

2) Частота власних коливань системи залежить від частот власних коливань тіл, що входять в систему, та від коефіцієнта зв'язку між ними – μ.

3) Якщо $\mu = 0$, то корені рівняння визначають частоти ω_1та ω_2 вихідних коливань системи, тобто кожна система коливається незалежно від іншої.

4) Якщо $\mu = 1$, то маси системи жорстко зв'язані між собою, а відповідно одна з частот власних коливань $\omega'_0 = 0$, а друга має максимальне значення $\left(\omega''_0 = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}\right)$.

Під час монтажу обладнання зазвичай ставиться завдання: сила, що передається від системи до несучої конструкції повинна бути якомога меншою. Цю силу можна визначити за допомогою коефіцієнта передачі $C_{\text{пер}}$, що визначається відношенням максимальної пружної сили F_y, що передається системою основі, до максимальної прикладеної сили F. У разі незбалансованого обладнання з масою m, змонтованого на фундаменті, рух якого моделюється співвідношенням (3), коефіцієнт передачі визначається так:

$$C_{\text{пер}} = \frac{|F_y|}{|F|} = \sqrt{\frac{1+\left(2\frac{r}{r_{\text{кр}}}\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2+\left(2\frac{r}{r_{\text{кр}}}\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{\sqrt{1+4\beta^2\gamma^2}}{\sqrt{(1-\gamma^2)^2+4\beta^2\gamma^2}}, \quad \beta = \frac{r}{r_{\text{к.р.}}}, \quad \gamma = \frac{\omega}{\omega_0}. \qquad (6)$$

Кут між силами F та F_y визначається виразом

$$tg\varphi = \frac{r\omega}{k-m\omega^2} = \frac{2\beta\gamma}{1-\gamma^2}. \qquad (7)$$

Аналіз формули (6) дозволяє зробити такі висновки. Якщо $\gamma = \sqrt{2}$, то для будь-якого β маємо $C_{\text{пер}} = 1$. При $\beta = 0$ значення коефіцієнта передачі буде дорівнювати:

$$C_{пер} = \frac{1}{\gamma^2-1}. \qquad (8)$$

Відношення частот, за якого передача матиме максимальне значення:

$$\gamma = \sqrt{\frac{-1\sqrt{1+8\beta^2}}{4\beta^2}}. \qquad (9)$$

З формул (8) та (9) виходить, що максимальне значення передачі залежить лише від параметра β. Аналіз залежності коефіцієнта $C_{\text{пер}}$ від β показує, що за невеликих згасань коефіцієнт передачі може бути розрахований за формулою:

$$C_{\text{пер.макс}} = \frac{1}{2}\beta. \qquad (10)$$

Зазначимо, що при дослідження вібрації машин із більшою кількістю степенів свободи розв'язок рівнянь (2) значно ускладнюється.

Рівень потужності вібрації за чверть періоду та одиничної маси буде визначатися так:

$$P = 8\pi^2 X^2 f^3. \qquad (11)$$

Розглянута модель системи з двома степенями свободи може застосовуватися для розрахунку вібрацій обладнання і установок генерації звукових сигналів з використанням електричних двигунів. Визначення рівня вібрацій дозволить класифікувати різні способи ізоляції фундаментів обладнання з метою вибору оптимального типу монтажу відповідних електричних машин.

НАПРЯМОК РОЗВИТКУ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ У КРИВБАСІ

Науковий співробітник Осінній В.Я.
Інститут геотехнічної механіки НАН України

У світовій практиці минулого століття у багатьох технологічних питаннях розвиток виробництва знайшла своє застосування низькотемпературна плазма.

В ІГТМ НАН України було розроблено та випробувано електродугові плазмотрони потужністю від 40 до 200 кВт. Плазмові генератори це надзвичайно гнучкий інструмент за тепловими, енергетичними та експлуатаційними параметрами. Завдяки цим якостям на сьогоднішній день у гірничо-рудній промисловості вони є єдиним засобом створення котлових порожнин заданої форми, що дозволяє здійснювати нові технологічні процеси у буропідривному комплексі робіт.

Інститутом розроблено цілу низку установок для різних технологій гірничо-рудного виробництва:

- відбійка залізистих кварцитів на камеру свердловинами віяловими;
- відбійка міцних руд низхідними свердловинами;
- проходження відстаючих виробок за один вибух на всю висоту поверху;
- утворення відрізної щілини із застосуванням двох повстаючих виробок, пройдених за один прийом підривання свердловинних зарядів на компенсаційну порожнину, отриману за допомогою плазмової установки УПРС-В;
- спорудження дучок для випуску руди за допомогою плазмової установки.

Усі названі види робіт у шахтах Кривбасу виконувались співробітниками плазмової лабораторії ІГТМ НАН України та шахт [1-6].

В електродугових плазмотронах найпростіший спосіб отримання плазми полягає в термічній іонізації газів в електричних розрядах. Температура плазми одноатомних газів не перевищує 13000 °С, двоатомних – 8000 °С. Середньомасова температура факела плазмотрону – 3500-4000 °С. Завдяки високій температурі плазма надає надзвичайно потужний енергетичний вплив на оброблювану речовину, виступаючи в ролі як універсального теплоносія, так і реагенту. За допомогою плазми можна здійснити практично будь-яку ендотермічну реакцію у гірських породах. Головне, навчитися керувати її термодинамічних процесів. Простота конструкції плазмотронів дозволяє їх виготовляти практично на будь-якій шахті у механічному цеху.

Усі промислові випробування установок плазмового розширення свердловин проводилися на плазмоутворюючому газі - повітря. Тому з екологічної точки зору застосовувалася вентиляція з розведенням відпрацьованих газів чистим повітрям. У лабораторних умовах інституту та промислових умовах шахти випробовувалися плазмотрони на парі, які були екологічно чистими. Температура пари складала 400-500 °С.

У новому столітті плазмові генератори повинні працювати на перегрітій парі. Експериментальні дослідження газового складу та термодинамічних характеристик водяної плазми в діапазоні температур 2000 - 6000 °С та тисків

0.1-0.5 МПа показали, що основними компонентами термічно дисоційованої водяної пари є атомарні та молекулярні водень і кисень, а також радили. Спектр водяної плазми складається з великої кількості збуджених молекул і радикалів і характеризуються високими значеннями коефіцієнтів тепломасообміну – щільності та потужності випромінювання, ентальпії, теплоємності та теплопровідності газу.

Порівняльний аналіз спектрів випромінювання повітряної та водяної плазми показали, що для повітряної плазми сумарне випромінювання, обумовлене кількістю збуджених атомів і молекул, лежить в інфочервоній області (~ 2000 $см^{-1}$)

Результати досліджень електродугових плазмотронів підтверджують можливість створення екологічних плазмових технологій на базі водяної плазми для гірничорудного виробництва.

Ряд конструкцій плазмових генераторів пройшли випробування в промислових умовах в різних технологічних процесах. Дослідження плазмового генератору з паро-вихревою стабілізацією дуги здійснювались в підземних умовах шахт криворізького залізорудного комбінату з використанням установки плазмового розширення свердловин (УПРС) при наступних режимних параметрах генератора: потужність 150 кВт, напруга на дузі 800 В, струм 200 А, витрати водяної пари (при температурі 320 К) 4 г/с, тиск водяної пари 0,2-0,25 МПа, середньомасова температура плазмового струменю 3500 К. Як джерело водяної пари використовувався електричний парогенератор електродного типу конструкції ІГТМ НАН України.

Автором цієї статті опубліковано роботи у США, Франції, Норвегії, Японії, Китаї, Румунії.

Література

1. Osinniy V. Theoretical aspects of modern engineering: collective monograph. Section 11. Minimization of risks during the raises advance / V. Osinniy, S. Makeiev. – International Science Group. – Boston (USA): Primedia eLaunch, 2020. – Pp. 241-245.
2. Advanced technology of raise boring by non-sectional blasting to the full level interval / A. Bulat, V. Osinnii, A. Dreus, N. Osennia. – Advanced Drilling Technologies of Underground Resources: Int. conf. on the cooperation and integration industry, education, research and applicaton. – Changchun, China, 15-17 Sept. 2020.
3. Theoretical consideration of the plasma energy transfer to the rock mass / S.YU. Makeiev, V.YA. Osinniy, G.A. Ryzhov, N.V. Osinnja and O.V. Holyavik. – Geo-Technical Mechanics: Journal of Collected Scientific Papers / The M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics. – Dnipro, 2016. – Issue 128. – P. 139-148.
4. Thermodynamic calculation of plasma action on mining rock / S.Y. Makeiev, V.Y. Osenniy, G.A. Ryzhov, E.S. Kliuev. – Strategy of Quality in Industry and Education: Proceedings of VI International Conference (June 2010). – Varna, Bulgaria, 2010. – Vol. 1(1). – P. 352-356.
5. Osinnii V. Kinetic parameters of thermal processes taking place in rocks under the action of plasma / V. Osinnii, V.Shumrikov. – Progress in Plasma. Processing of Materials. P.Fauchais, S.Amouroux. Eds – Begell Heuse. N.Y. Walling Ford (U.K.), 2001.
6. Bulat A. Control of the heat flux distribution at the anode of a transferred are argon stabilized and flowing in air / A. Bulat, P. Bulany, V. Osenny. – Progress in Plasma. Processing of Materials. P.Fauchais, S.Amouroux. Eds – Begell Heuse. N.Y. Walling Ford (U.K.), 2003. – P. 211-218.

ОЦІНКА ПОТОЧНИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ У РОБОЧОМУ ПРОЦЕСІ СТРУМИННОГО МЛИНА

Д-р техн. наук Горобець Л.Ж[1]., інженер Верхоробіна І.В.[2]
[1]НТУ «Дніпровська політехніка»
[2]ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

Оцінка енерговитратності роботи струминного млина пропонується на основі спільності прояву закономірностей акустичної емісії (АЕ) та ефектів утворення нової поверхні зруйнованих окремостей з позицій єдності механізму руйнування тіл, що навантажуються. Дослідженнями [1-4] підтверджено застосування методу АЕ для прогнозної оцінки енерговитрат на всіх стадіях кінетичного процесу руйнування (тріщиноутворення, мікро- та макродиспергування, дроблення).

Промислові установки струминного подрібнення (УСП) працюють у замкнутому циклі з класифікуючим апаратом, тому дисперсність продукту регулюється частотою n (хв$^{-1}$) обертання ротора відбійно-вихрового класифікатора. Досвід роботи УСП показав, що концентрація частинок у потоці енергоносія визначає кількість їх зустрічних зіткнень і показник $\dot{N}$ (імп/с) акустичної активності зони помелу [2]. Величина $\dot{N}$ в режимі максимальної продуктивності млина відповідає максимальній акустичній трансформації енергії частинок в ефекти диспергування.

Основу розрахунку поточних витрат енергії $E_{\Delta\tau}$(Дж) за період $\Delta\tau$(с) роботи млина становить коефіцієнт трансформації споживаної енергії в акустичну емісію γ_N (Дж/імп) в оптимальному режимі роботи млина з максимальною продуктивністю ($G_{макс}$) [3]. Мінімальна енерговитратність робочого процесу струминного млина реалізується за «умовно постійної величини» γ_N. Величину γ_N визначаємо як відношення $\gamma_N = N / \dot{N}$ (Дж/імп) підведеної роботи (енергії) до рахунку утворених акустичних сигналів у зоні помелу.

За дослідними даними акустичної інформації $\dot{N}$ та технології ($G, N, S_{пот}$) визначаємо акустичну енергоємність диспергування N_S (імп/см^2):

$$N_S = \dot{N} / G \cdot S_{пот} \cong const , \qquad (1)$$

де $\dot{N}$ (імп/с) – активність АЕ (кількість сигналів в одиницю часу) у зоні помелу; G (г/с) – продуктивність млина, $S_{пот}$ (см^2/г) – дисперсність продукту.

Значення γ_S (Дж/см^2) ефективної поверхневої енергії для режимів мінімальної енерговитратності розраховуємо за формулою:

$$\gamma_S(\text{Дж/см}^2) \cong N_S(\text{імп/см}^2) \cdot \gamma_N(\text{Дж/імп}) \cong const \qquad (2)$$

У таблиці 1 наведено результати струминного подрібнення циркону в режимах $(G_1, n_1; G_2, n_2)$ роботи класифікатора з оцінкою показників роботи млина при продуктивності G (г/с) та питомої поверхні продукту $S_{пит}$ (см^2/г).

Таблиця 1 – Показники акустичної енерговитратності УСП в оптимальних режимах подрібнення циркону

G, г/с	$S_{пит}$, см^2/г	$\dot{N} \cdot 10^{-5}$, імп/с	N_G, імп/г	N_S, імп/см^2	γ_N, Дж/імп		γ_S, Дж/см^2
	Продуктивність G_1 = 1406-1416 кг/год, n_1 = 80 хв$^{-1}$						
393,3	1753	1,5	381	0,217	1,9		0,41
390,6	1809	1,6	410	0,226	1,78		0,4
	Продуктивність G_2 = 1094-1022 кг/год, n_2 = 170 хв$^{-1}$						
304	2513	1,37	450	0,179	2,08		0,37
284	2342	1,9	669	0,286	1,5		0,43

Оцінка енерговитратності включала розрахунок ефективної поверхневої енергії γ_S (Дж/см^2), акустичної трансформації споживаної енергії γ_N (Дж/імп), акустичної енергоємності $\dot{N} \cdot 10^{-5}$(імп/с), N_G (імп/г), N_S (імп/см^2): $N_G = \dot{N} / G$; $N_S = \dot{N} / G \cdot S_{пит}$.

Розрахунок витрат енергії $E_{\Delta\tau}$(Дж) за період $\Delta\tau$ (с) роботи млина проводиться з урахуванням коефіцієнта γ_N (Дж/імп) та усередненого (за $\Delta\tau$) показника $\dot{N}$ (імп/с) акустичної активності в зоні помелу. У серії експериментів струминного подрібнення циркону встановлено «умовно постійна» величина γ_N на рівні $\gamma_N \cong 1{,}8$ Дж/імп. Швидкодіюче регулювання завантаження струменів до рівня $\gamma_N \cong 1{,}8$ Дж/імп забезпечує реалізацію технології з максимальною продуктивністю та мінімальними витратами енергії ($\gamma_S \cong 0{,}42$ Дж/см^2).

Проведені дослідження підтверджують, що умовою підтримки мінімальної енерговитратності струменевого подрібнення є швидкодіюче регулювання завантаження струменів до рівня акустичної активності в зоні помелу, при якому досягається умовно постійна величина коефіцієнта γ_N.

Література

1. Горобець Л.Ж. Розвиток наукових засад подрібнення твердих корисних копалин: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.08: захищена 08.10.04 / Горобець Л.Ж. - Дн-ск: НГУ, 2004. - 35 с.
2. Горобець Л.Ж., Верхоробіна І.В., Горобець К.В., Горобець В.В. Теоретичне обґрунтування оцінки енерговитратності диспергування у струменях // Всеукраїнський науково-технічний журнал // Промислова гідравліка та пневматика.- 2023.- № 1(71)- 2(72). – С.3-12.
3. Горобець Л.Ж., Верхоробіна І.В. Трансформація енергії на стадії диспергування навантажуваного геосередовища // Геотехнічна механіка: Міжвідомств. зб. наук. робіт. – Дніпро. – Випуск 136. – 2017. – С. 107–115. http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/15861
4. L. Gorobets I. Verhorobina V. Biletskyi A. Krivenko M. Grishchenko. Identification of factors to reduce the energy costs of dispersing in jets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Східно-Європейський журнал передових технологій. - Vol 6, No 1 (108) (2020). – P. 55-62.

ЗМІСТ

Панченко О.В., Заболотний К.С.
Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні як стратегічна модель підготовки фахівців у структурі спеціальності G11 Машинобудування (презентація освітньої концепції в новій нормативній архітектурі) 3

Заболотний К.С., Панченко О.В.
Освітньо-професійна програма «Віртуальне проєктування у машинобудуванні» в межах спеціальності G11 Машинобудування: концепція та апробація 12

Заболотний К.С., Панченко О.В., Симоненко В.В.
Дослідження осьових деформацій гальмових дисків канатомістких барабанів шахтових підіймальних машин 17

Шевченко Г.О., Чолишкіна В.В., Курілов В.С., Лебедь Г.Б.
Переробка лежалої золи із золосховища 19

Круковський О.П., Мінєєв С.П., Круковська В.В.
Моделювання процесу гідровіджимання привибійної зони вугільного пласта 20

Мінєєв С.П., Антончик В.Є., Ганкевич В.Ф., Лівак О.В., Вахалін Є.Д., Кіба В.Я.
Шляхи підвищення ефективності та зниження собівартості розміцнення гірських порід 22

Никитюк М.В., Панченко О.В., Заболотний К.С.
Розрахунок та оцінка міцності елементів колиски і привалкової стінки вагоноперекидача. 23

Ганкевич В.Ф., Лівак О.В., Вахалін Є.Д.
Удосконалення конструкції термомеханічного породоруйнуючого інструменту з використанням багатошарових термобіметалічних консолей 25

Панченко О.В., Заболотний К.С.)
Інтеграція методів Hot Spot Stress та Effective Notch Stress у розрахунках ресурсу зварних з'єднань у механізмі тюбінгоукладача 26

Скіпочка С.І., Сергієнко В.М., Прохорець Л.В.
Комплекс для неруйнівного ультразвукового контролю породних зразків довільної форми 28

Аспірант Черненко А.Г., Шевченко В.Г.
Алгоритм визначення параметрів вібраційного полічастотного сита для очищення бурових розчинів 30

Скіпочка С.І., Прохорець Л.В., Амелін В.А.
Обґрунтування ресурсозберігаючих технічних заходів і засобів з підтримання гірничих виробок рудних шахт 33

Шевченко В.Г., Пелих І.В., Холявченко Л.Т.
Розробка лабораторного стенду для плазмохімічного розділення метану на вуглець і водень 35

Курносов С.А., Макеєв С.Ю., Пилипенко Ю.М.
Свердловинний пристрій для інтенсифікації газовиділення з вугільних пластів, що підроблюються 37

Студент Круковський Д.О.
Математична модель вибуху в ідеальному газі поблизу твердої поверхні 39

Круковська В.В.
Закономірності перерозподілу поля напружень у вибої гірничої виробки при застосуванні розвантажувальної порожнини 40

Круковський О.П., Заболотний К.С., Бурков А.О.
Спосіб анкерного кріплення гірничої виробки з використанням захисних перемичок 43

Ільїн С.Р., Адорська Л.Г., Ільїна І.С.
Ризикоутворюючі динамічні процеси у ланках шахтних багатоканатних підйомних установок 44

Виноградов Ю.О.
Корозія бетонного кріплення гірничих виробок під впливом агресивних шахтних вод 46

Andrii Bondarenko
Features of design and calculation of Vertical hydraulic classifiers 47

Мінко О.Ю., Рябко А.І.
Зміна властивостей заскладованих відходів та їх вплив на довкілля після завершення експлуатації хвостосховищ 49

Хорольський А.О.
Застосування мереж Петрі для оцінки коефіцієнту готовності технологічних схем вугільних шахт 52

Deineka K.Yu., Naumenko Yu.V., Zhabchyk S.V.
Innovative processing of granular materials in drum machines with auto-oscillating intra-chamber filling in soft and hard self-excitation modes 55

Шевченко В.Г., Шевченко Г.О., Сухарєв В.В., Сущенко О.І.
Jamil Haddad
Обґрунтування параметрів вібраційних живильників з віброударним полічастотним приводом для ефективного вібровипуску гірської маси 58

Тинина С.В., Васильєв Д.Л., Кулак Є.А., Кущ О.В.
Вплив вібрації конструкції апарату на рівень шуму ЛА 59

Шевченко Г.О., Шевченко В.Г., Титов О.О., Курілов В.С., Самодрига О.А.
Дослідження подрібнення базальту у віброударному полічастотному млині та обґрунтування механізму руйнування частинок 60

Мінєєв С.П., Мірошниченко В.В.
Вплив пористості та вологості на самозаймання вугілля 61

Агаєв Р.А., Зберовський В.В, Дудля К.Є.
Концептуальні засади дослідження термохімічних процесів як передумови термодинамічних аварій у вугільних шахтах 64

Зберовський В.В., Петух О.П., Зієвська К.О., Криворучко О.Н.
Системний підхід до адаптивного керування безпекою геотехнічних систем у складних гірничо-геологічних умовах 67

Рябко А.І., Мінко О.Ю.
Моделі оцінки та прогнозу у системі екогеодинамічного моніторингу укісних споруд хвостосховищ 70

Зберовський В.В., Стасевич Р.К., Власенко В.В., Пазиніч А.В.
Обґрунтування температури процесу селективного каталітичного відновлення оксидів азоту на алюмомідноцинковому каталізаторі 73

Ostapenko N., Kyrychenko V., Bondarenko L., Kryuchkova S.
Modern technologies for monitoring of tailings storage facilities taking into account of multilevel methods 75

Доцент Кононов Д.О., студент гр. МБ01-22т Ваганов С.В.
Моделювання динаміки руху елементів еластичного карткового сита вібраційного грохота 77

Пасічник А. М.
До питання розрахунку імпедансу руки оператора при роботі з механізованим інструментом 80

Медведєва О.О., Гальченко З.С.
Застосування вітроенергетичних установок, як елемент природоузгоджених технологій на техногенно порушених гірничими роботами землях 81

Медведєва О.О., Чумак Л.В., Піцик О.В.
Аварії на техногенних об’єктах України: причини, наслідки, запобігання аваріям 83

Kukhar V.Yu. (Dnipro University of Technology)
Experimental determination of the strength of a dispersely reinforced epoxy composite material 87

Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В.
Вплив старіння еластомерів на довговічність гумових деталей в умовах абразивно-втомного навантаження 89

Лисиця М.І., Новікова А.В., Агальцов Г.М., Калганков Є.В., Лисиця Н.М.
Методи оцінки ризику пружно-спадкових систем 91

Черній О.А.
Оптимізація режимів роботи спірального віброживильника для поодинокого дозування насіння соняшнику в автоматизованих системах фенотипування 92

Лапшин Є.С., Шевченко О.І.
Аналіз можливостей та перспектив переробки техногенних відходів шляхом тонкої класифікації 94

Учень Калганков А.Є., Пугач А.М., Калганков Є.В.
Нанотехнології в механіці матеріалів: вплив фулерену C_{60} на властивості та старіння гумових деталей 96

Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В.
Чисельне DEM-моделювання динаміки зношування гумових футерівок кульових млинів першої стадії подрібнення 98

Студентка Година С.Є., Кухар В.Ю.
Аналіз переваг застосування композиційних матеріалів у конструкції біонічного протеза верхньої кінцівки 100

Студент Ніколаєнко Д.П., Кухар В.Ю.
Вплив вібраційних факторів на якість машинного візуального контролю в умовах безперервних виробничих ліній 102

Заболотний К. С., Панченко О.В., Гайдар В.В.
Постановка задачі цифрового моделювання та оптимізації укладання сталевого каната на канатомісткий барабан у середовищі CAD/CAE 104

Мацюк І.М., Твердохліб О.М., Вернер І.В.
Аналіз методів дослідження механізмів вищих класів промислового обладнання 106

Гавриленко С.С.
Визначення еквівалентних жорсткісних характеристик гумометалевих опор грохота-перевантажувача 107

Студент Галаницький Д.Є., Анциферов О.В.
Розрахунок на міцність дебалансу інерційного приводу 110

Студент Кожевников М.П., Анциферов О.В.
Розрахунок пружної системи вібраційного живильника 111

Student Ivanenko I.V., Shkut A.P.
Application of reverse engineering technologies for the structural restoration of the ib61 lathe feed box 112

Fedoskina O.V., Erisov M.M., Fedoskin V.A.
Prospects for recycling reinforced concrete waste from destroyings in the area of its formation 114

Студент Акулінін Д.Р., Заболотний К.С.
Розробка борту для управління БПЛА 115

Студент Акулінін Д.Р., Заболотний К.С.
Участь у конкурсі BRAVE1 – концепція 116

Larionov Myckola, Larionov Hrihorij, Voloshko Viktor
On the influence of local changes in time density in the vicinity of exothermic and endothermic reactions on the rate of bacterial reproduction 117

Пасічник А. М., Ріпа М. Ю.
Методика розрахунку коливань обладнання при генерації звукових сигналів джерел екстреного оповіщення населення 118

Осінній В.Я.
Напрямок розвитку буропідривних робіт у Кривбасі 120

Горобець Л.Ж., Верхоробіна І.В.
Оцінка поточних витрат енергії у робочому процесі струминного млина 122