

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРАКТИЦІ ГІРНИЦТВА

*В.В. Назимко, Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Україна
М.О. Ілляшов, І.О. Дедіч, ПрАТ "Донецьксталь" - металургійний завод", Україна*

Наведено досвід застосування у практиці гірництва комп'ютерних моделей, математична основа яких базується на другому законі Ньютона. Висока ефективність нових моделей досягається завдяки прямому врахуванню часу протікання незворотних фізичних процесів і відсутності проблеми збіжності рішень за умов великих деформацій і зміщень. Це продемонстровано на задачах збагачення корисних копалин, спільного деформування рамно-аркового кріплення і оточуючого масиву, спряження вертикального стволу й капітальної виробки, взаємодії зони розвантаження й суміжних очисних вибоїв, переходу малоамплітудного порушення очисним вибоєм, виникнення техногенних сейсмічних подій, стійкості дегазаційних свердловин під час їх підробки очисним вибоєм, провалів земної поверхні, зсувів ґрунту і бортів кар'єру та охорони навколишнього оточення від забруднень.

Вступ. В умовах економічної кризи і ринкової конкуренції неухильно підвищується необхідність вдосконалення технологій гірничого виробництва. Вітчизняні виробничники не мають можливості замовляти довгострокові й коштовні наукові дослідження, які потребують інвестицій у обладнання, й залучення великих експериментальних колективів. Саме тому увага практиків усе більше привертається до сучасних технологій комп'ютерного моделювання, яке здатне досліджувати складні процеси на віртуальних моделях. Особливо це важливо для гірників, які оперують обладнанням, що коштує мільйони, а втрати від невдалих натурних експериментів складають десятки мільйонів. Найчастіше виникають термінові задачі, пов'язані з проявом гірського тиску, фільтрацією вибухонебезпечного газу, проривом підземних вод у гірничі виробки.

Стан питання, виділення невирішеної частини проблеми. Найбільш поширена модель, що застосовується для дослідження складних процесів прояву гірського тиску, фільтрації флюїдів і тепла базується на методі скінчених елементів [1]. Математична основа методу пов'язана з варіаційним принципом механіки та принципом Даламбера [2]. У ході числової реалізації таких підходів виникає проблема збіжності рішення системи рівнянь під час моделювання виражених необоротних процесів, зокрема за умов, коли деформування масиву і кріплення відбувається далеко за межами пружності.

У зв'язку з цим останнім часом набувають популярності моделі, теоретична основа яких базується на другому законі Ньютона [3]. Такі моделі мають суттєву перевагу, оскільки вільні від проблем збіжності, причому математична теорія, основана на законі Ньютона прозора, проста і враховує безпосередньо час протікання фізичних процесів, що відбуваються у масиві гірських порід. Це дозволяє відображати складні нестационарні фізичні процеси, які протікають у масиві гірських порід під впливом збурень від гірничих робіт з урахуванням темпів посування вибоїв та позамежним деформуванням порід, включаючи їх обвалення і необоротне переміщення у виробленому просторі. Саме ця перевага ціниться практиками, яких турбують деформації на контурі виробок, що вимірюються метрами, а не міліметрами.

Проте застосування моделей не обмежується геомеханікою. Так звані алгоритми потоків частинок (АПЧ) широко використовуються й для вивчення процесів турбулентного руху породних фрагментів та частинок під час переробки корисних копалин, їх розділення, класифікації та збагачення. До того ж АПЧ-моделі є найбільш перспективними засобами вивчення фізичних властивостей гірських порід на синтетичних зразках, які створюються з окремих частинок з наперед заданими властивостями. Зі збільшенням продуктивності

обчислювальної техніки і розвитком паралельного програмування АПЧ-моделі мають у перспективі шанс витіснити традиційні числові моделі, які вимагають штучної дезінтеграції розрахункової схеми на скінчені, граничні, дискретні елементи, скінчено-різницеві зони і тому подібні умовності і спрощення, що так чи інакше негативно впливає на достовірність результатів моделювання [4].

Ціллю доповіді є обґрунтування на практичних прикладах переваги методів моделювання, математична основа яких базується на другому законі Ньютона. У наступних пунктах наводяться приклади застосування моделей нового покоління для вирішення наступних практичних **задач** гірництва: збагачення корисних копалин, спільного деформування рамно-аркового кріплення і оточуючого масиву, спряження вертикального стову й капітальної виробки, взаємодії зони розвантаження й суміжних очисних вибоїв, переходу малоамплітудного порушення очисним вибоєм, виникнення техногенних сейсмічних подій, стійкості дегазаційних свердловин під час їх підробки очисним вибоєм, провалів земної поверхні, зсувів ґрунту і бортів кар'єру та охорони навколишнього оточення від забруднення. Специфічною **задачею** доповіді є також продемонструвати практичні висновки і прикладні результати, що досягаються завдяки новим методам моделювання.

Застосування АПЧ-моделі для дослідження фізичних процесів переробки корисних копалин. На рис. 1 наведено кінематику взаємодії частинки вугілля з повітряним пухирцем у **процесі флотації**. Вказаний процес досліджувався за допомогою АПЧ-моделі. Видно, як частинка вугілля і повітряна бульбашка у результаті зустрічного руху наближаються один до одного і зіштовхуються на другому знімку. Кінетична енергія зіштовхування трансформується у затухаючі коливання бульбашки, а найменший ексцентриситет зіштовхування призводить до обертання системи «частинка-пухирець», яка одночасно продовжує спливати з меншою швидкістю. Паралельно частинка проковзує уздовж поверхні бульбашки, не втрачаючи з нею адгезію. Після декількох складних коливань і взаємних проковзувань адгезія втрачається і частинка відривається від пухирця. За певних умов частинка зустрічається з наступною бульбашкою. Моделювання здійснюється з мінімальним кроком у часі, що гарантує збіжність рішення, а також дає можливість у найменших деталях прослідити за параметрами фізичного процесу взаємодії частинки з бульбашкою.

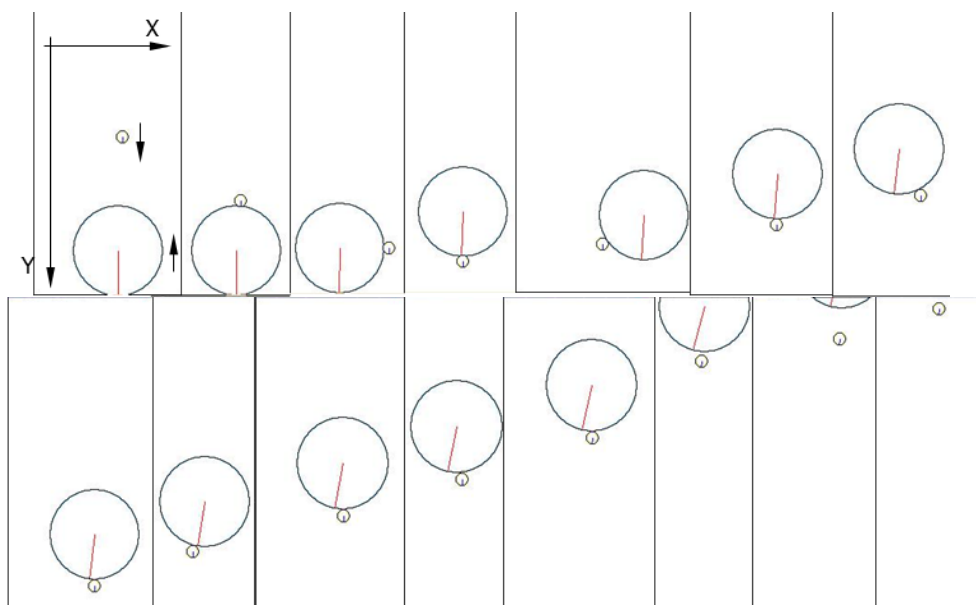


Рис. 1. Взаємодія елементів при утворенні та спливанні флотаційного комплексу „мінеральна частинка-повітряний пухирець”

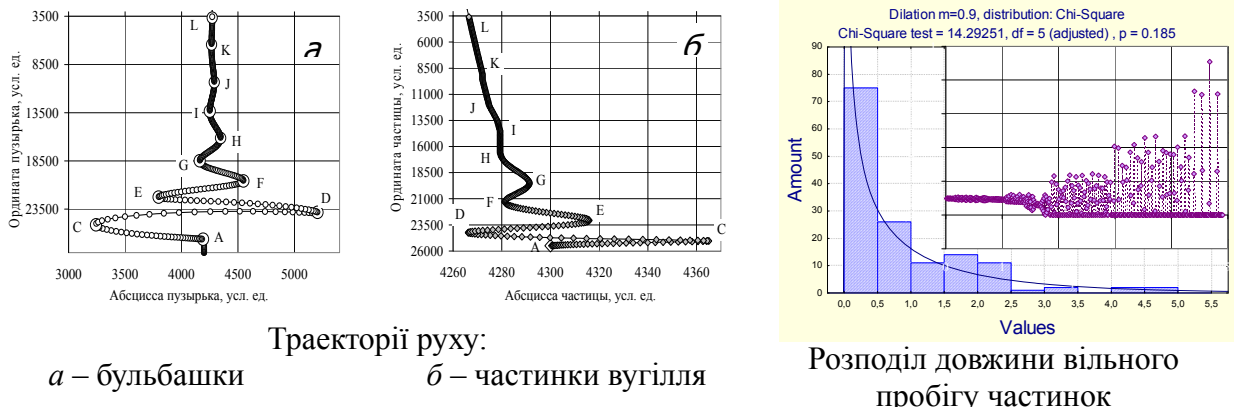


Рис. 2. Траєкторії руху бульбашки (а), частинки (б) і розподіл довжини вільного пробігу

На рис. 2 наведені траєкторії частинки і пухирця. Характерно, що невеликий комплекс, що складався з десятка частинок і кількох бульбашок дав можливість дослідити статистичні характеристики системи, встановити важливі закономірності й параметри процесу флотації і знайти оптимальну щільність завантаження робочої камери флотаційного апарату, а також підібрати раціональні реагенти і сурфактанти (фрагмент рис. 2, що справа).

На рис. 3 показано *вібросіл з похилими рифленими поверхнями* для розділення мілких фракцій корисних копалин і пустої породи.

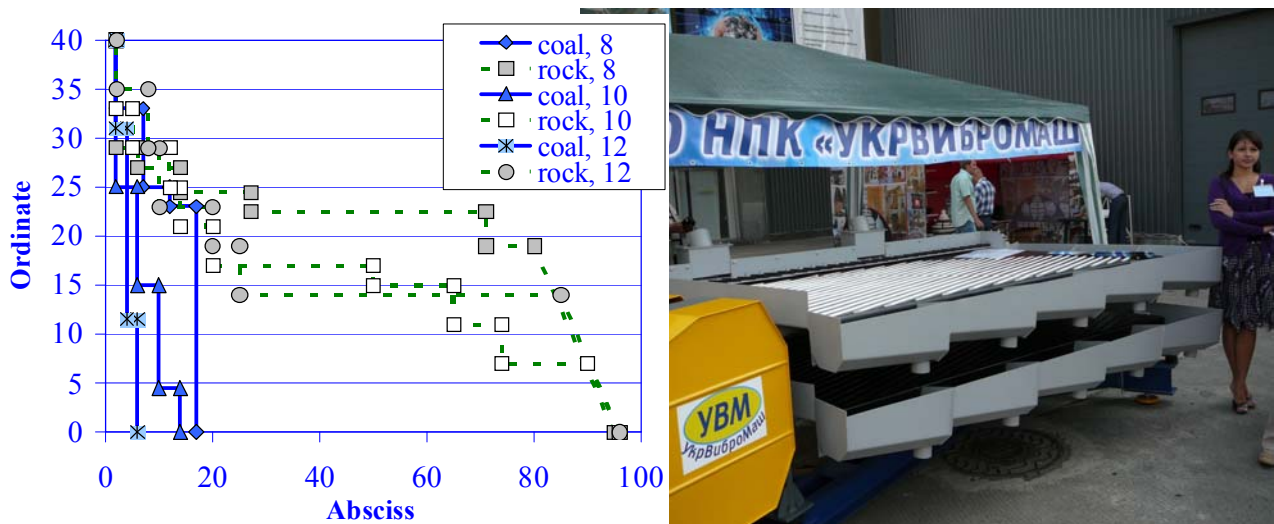


Рис. 3. Дослідження впливу кута нахилу рифлів на ефективність розділення

Моделювання засвідчило, що зміна кута нахилу рифлів у межах 8-12⁰ практично не впливає на траєкторію потоків пустої породи, натомість тонкі частинки вугілля чутливі до такої варіації, що дозволило обґрунтувати місцезположення роздільної деки віброустановки. АПЧ-модель застосовувалась також для дослідження оптимальних параметрів процесу *розділення тонких фракцій вугілля і породи у висхідних потоках повітря*, а також пошуку нових *режимів роботи фільтрпресів*. Було доведено, що додаткове накладення зсувних деформацій на стиснену масу вугільного шламу, який зневоднюється, підвищує ефективність видалення вологи за однакових витрат енергії.

Застосування АПЧ-моделі для дослідження стійкості підготовчих виробок підтвердило їх ефективність і дозволило встановити ряд важливих практичних закономірностей. Зокрема роботами вчених НГУ, ІГТМ, ІФГП НАНУ, ДонНТУ встановлено, що при підвищенні темпів посування очисних вибоїв величина зміщення порід на контурі виїмкових виробок дещо зменшується. Достовірність вказаної закономірності доведена

представницькими шахтними експериментами. Проте її фізичні причини залишались нез'ясованими. Саме АПЧ-модель дозволила дослідити особливості фізики процесу деформування гірських порід за умов різної швидкості їх навантаження. На рис. 4 наведені результати моделювання деформацій перерізу конвеєрного штреку для типових умов Красноармійського вугледобувного району [5]. Пласт потужністю 2 м відпрацьовувався на глибині 850м. У безпосередній покрівлі залягав алевроліт потужністю 4м, який мав міцність на стиск 45МПа. Вище розташований пісковик з міцністю 65МПа. Під вугільним пластом залягав аргіліт потужністю 1,56м і міцністю 30МПа. Нижче його розміщений алевроліт міцністю 45МПа. Виробка підтримувалась позаду діючої лави за допомогою литої смуги.

Граничні умови задачі задавались відповідно епюрі опорного тиску попереду діючого очисного вибою і епюрі активних зрушень (осідань) товщі позаду нього. Досліджувались дві ситуації, в яких відрізнялась тільки швидкість посування лави (70м/доб і 170м/доб). Величина концентрації, довжина зони опорного тиску, а також довжина зони активних зрушень були у 1,5 більше для лави, що рухалась швидше, проте час навантаження виробки у зоні опорного тиску був менше.

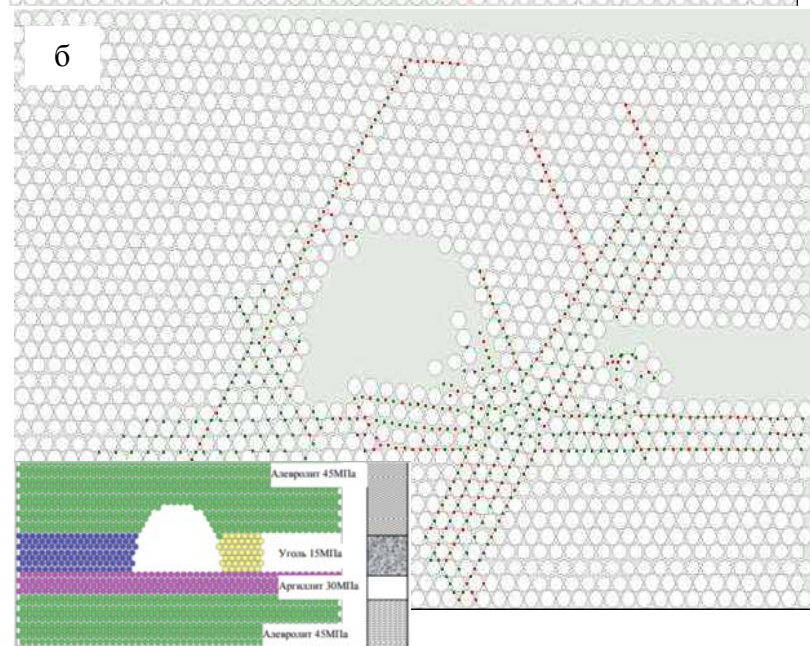
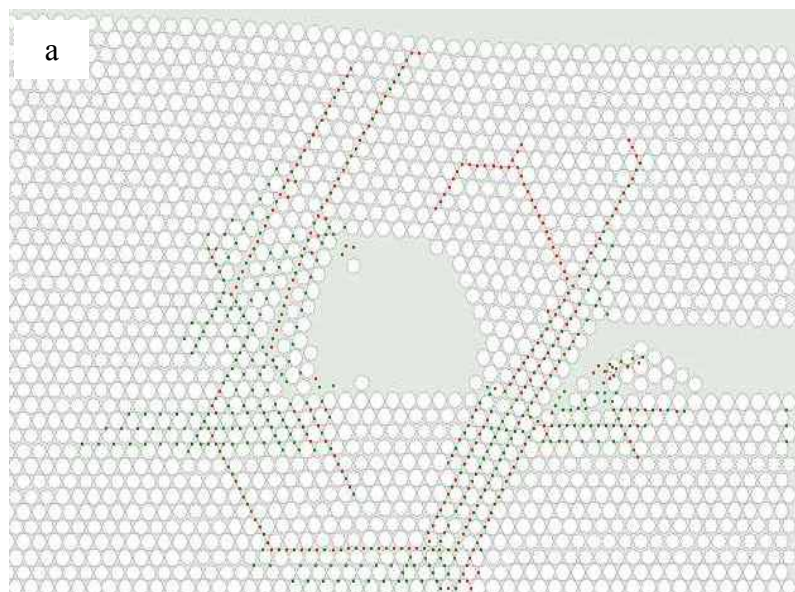


Рис. 4. Руйнування масиву при швидкості посування лави 170м/доб (а) і 70м/доб (б)

Результати моделювання показали, що процес руйнування оточуючих виробку порід був різний.

У випадку повільного посування лави розподіл порушеності масиву менш рівномірний. Тріщини зсуву і розтягнення концентруються навколо найменш міцних елементів системи «виробка-оточуючий масив». У даному випадку найбільш інтенсивного руйнування зазнала лита смуга і підшва виробки.

За умов великої швидкості посування лави період навантаження системи скорочується і часу на детальну диференціацію процесу руйнування у просторі не вистачає. Тому розподіл зон руйнування навколо виробки більш рівномірний [5]. Масив дезінтегрується на більш рівномірні блоки, що сприяє виникненню природного ефекту самозаклинювання зруйнованих порід навколо виробки [6]. Це створює додатковий опір гірському тиску і гальмує процес зміщення порід на її контурі. Як наслідок висота виробки і ширина її перерізу у 1,1-1,15 рази більша у порівнянні з випадком, коли лава рухалась повільно.

Моделювання сумісного опору комбінованого рамно-анкерного кріплення і оточуючого підготовчу виробку масиву є складною геомеханічною задачею. Перші спроби вирішити вказану задачу здійснено німецькими спеціалістами фірми ДМТ і вченими НГУ. Було встановлено, що найбільша проблема виникає з моделюванням фізичного *профілю рамного піддатливого кріплення*, тобто кріплення, яке представлено не математичним аналогом у вигляді безкінечно тонкого стрижня, якому задані геометричні й інерційні параметри у вигляді чисел, а профілю, що має реальні розміри й об'єм. У процесі піддатливості рами, або її пластичної деформації виникає проблема статичної нерівноважності рами, що не дозволяє рішенню збігатись. Сама піддатливість рами реалізується тільки за умов великих деформацій перерізу виробки, що створює проблеми збіжності рішень із застосуванням МКЕ, або наповзання фрагментів масиву один на одного, що фізично неможливо. На рис. 5 такий негативний ефект показаний на прикладі рішення ДМТ, де видно, як ліве крило складки покрівлі наповзає на праве, а породи покрівлі наповзають на породи підшови.

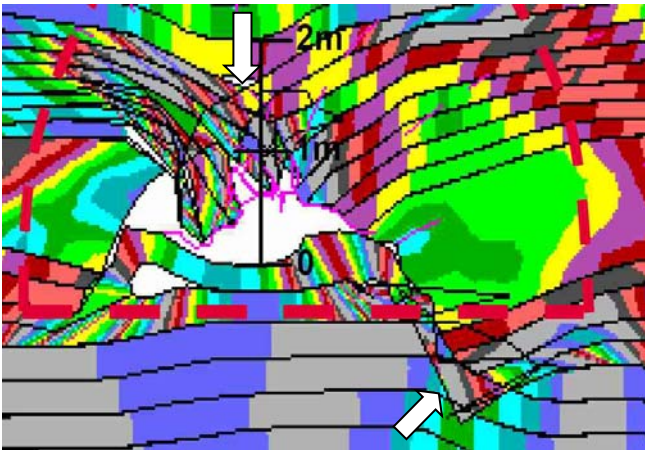


Рис. 5. Ефект наповзання фрагментів масиву один на одного (вказано скрілками)

Вказані проблеми були вирішені з застосуванням програмного пакету FLAC3D, математична основа якого базується на другому законі Ньютона [7]. На рис. 6,б показано можливості моделі відтворювати деформації перерізу виробки, які вимірюються кількома метрами, що як бачимо на знімку (фрагмент (а)) є актуальним для практики роботи шахт на великих глибинах. На фрагменті (в) вказано фігурними скобками нахлести сегментів рамного кріплення, на яких проковзування

сегментів один відносно одного досягло 200мм. У процесі опору інтенсивним зміщенням порід у порожнину виробки рами не тільки зазнали пластичних деформацій, але й втратили стійкість, вийшовши з площини, яка є перпендикулярною до осі виробки (фрагмент г). Такі негативні наслідки проявів гірського тиску часто спостерігаються у виїмкових штреках, які підтримуються у важких умовах позаду діючої лави (знімок на фрагменті (д)).



Рис. 6. Великі деформації перерізу виробки: а) здимання підшови у реальному укліні на глибині 850м; б) здимання підшови у модельній виробці; в,г,д) стан рамного піддатливого кріплення, яке зазнало пластичних деформацій та втратило стійкість

У результаті виконаних досліджень були створені нові конструкції комбінованих рамно-анкерних кріплень сумісного опору. Конструкції пройшли успішну промислову перевірку і впроваджуються у практиці роботи ш/у Покровське. Завдяки вказаним конструкціям забезпечено стійкість рамного кріплення, виключена можливість його повздовжнього скручування й пластичних деформацій, збільшена піддатливість замків у 1,5-2 рази. Це сприяє підвищенню стійкості підготовчих виробок, які експлуатуються у зонах активного впливу очисних робіт.

Модель FLA3D показала велику ефективність при дослідженні **стійкості спряжень вертикального стволу з суміжними капітальними виробками**, що дозволило обґрунтувати нові технології посилення вказаних спряжень без випуску зруйнованих порід і заміни стаціонарного кріплення, яке зазнало пластичних деформацій сталевих рам та руйнування бетонної обділки. Саме випуск зруйнованої породи є особливо небезпечним біля вертикальних стволів, оскільки така операція сприяє виникненню зон втрати стійкості масиву. Моделювання довело, що багатократне перекріплення капітальних виробок породжує небезпечний зворотний зв'язок між відновленням виробок традиційною технологією і погіршенням їх стійкості.

Були **уточнені параметри охорони виробок основного напрямку у зонах, розвантажених від гірського тиску**. Доведено, що відпрацювання суміжних запасів без залишення охоронних ціликів ліквідує створену зону розвантаження завдяки активній взаємодії вироблених просторів розвантаженої зони та суміжних виїмкових стовпів.

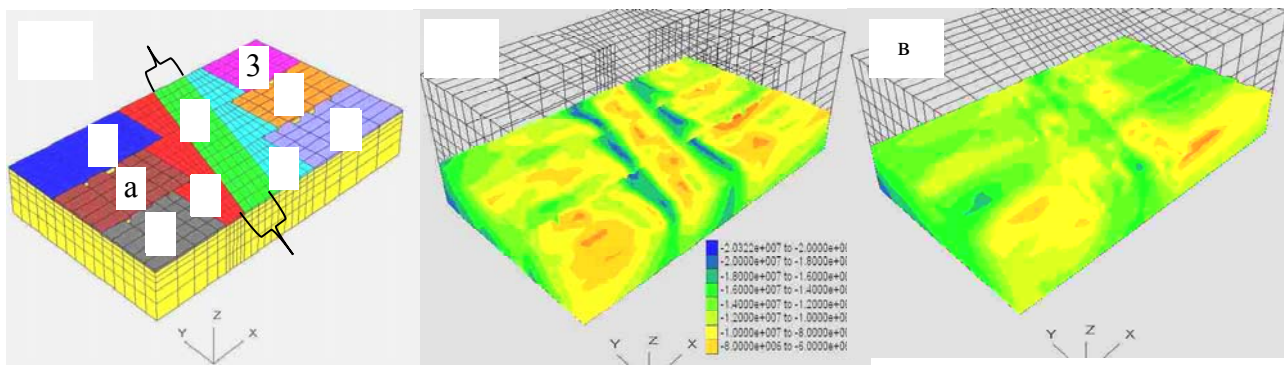


Рис. 7. Порядок відпрацювання виїмкових стовпів у панелі (а, позиції 1-7); розподіл вертикальної компоненти гірського тиску за умов залишення ціликів 8 і 9 (б), та безціликового розвитку очисних робіт (в)

На рис. 7 наведено планування розвитку очисних робіт у панелі. Першою відпрацьовується розвантажувальна лава 1, контури виробленого простору якої обмежені фігурними скобками. Потім відпрацьовуються виїмкові стовпи 2 і 3 першого ярусу, 4 і 5 другого, 6 і 7 третього і т.д. Між виробленим простором ярусних лав і розвантажувальної лави наполегливо рекомендується залишити цілики (наприклад 8 і 9) шириною не менш ніж 0,17 від глибини розробки. Вказані цілики захистять зону розвантаження від гірського тиску, в якій охороняються основні підготовчі виробки, наприклад уклони. Моделювання засвідчило (фрагмент (б)), що такі охоронні цілики захищають розвантаженою зону, що дає можливість забезпечити реальне безремонтне підтримання основних виробок. У випадку безціликового відпрацювання суміжних запасів розвантаження повністю зникає (фрагмент (в)), а основні виробки втрачають стійкість і потребують періодичного відновлення: приблизно один раз через три роки перекріплення і щорічно підривку підосви, що зривається.

Попутно були отримані реальні значення так званих кутів зрушення δ (рис. 8, а), які часто використовують маркшейдери під час розрахунків осідань і деформацій земної поверхні а також кутів повних зрушень ψ (фрагмент (б)), які більше цікавлять експлуатаційників. Значення кутів співпадає з тими, що вказані у нормативних документах з похибкою, що не перевищує 2-3⁰, що свідчить про достовірність результатів моделювання.

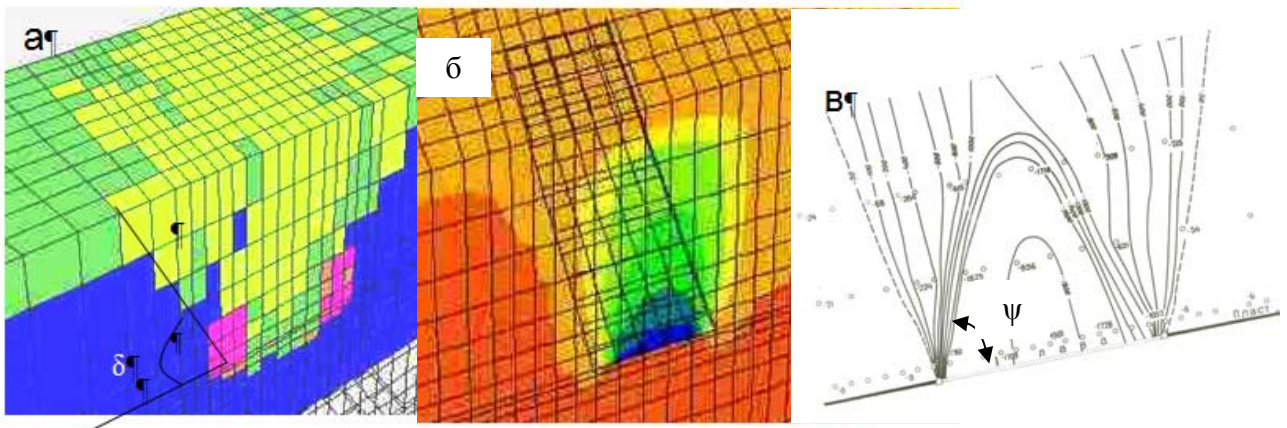


Рис. 8. Ідентифікація кутів зрушень (а) і повних зрушень на комп'ютерній (б) і фізичній (в) моделях.

Модель FLA3D застосовувалась у практиці **переходу малоамплітудних порушень (МАП) очисними вибоями**. Під час таких операцій зношується механізований комплекс, підвищується небезпека обвалування безпосередньої покрівлі. Погіршується якість рядового вугілля. На рис. 9,а наведено геологічний розріз МАП, який було необхідно перейти комплексом КД-90. Амплітуда порушення перевищувала виїмкову потужність пласта, що створювало особливі труднощі під час переходу. Завдяки аналізу результатів моделювання

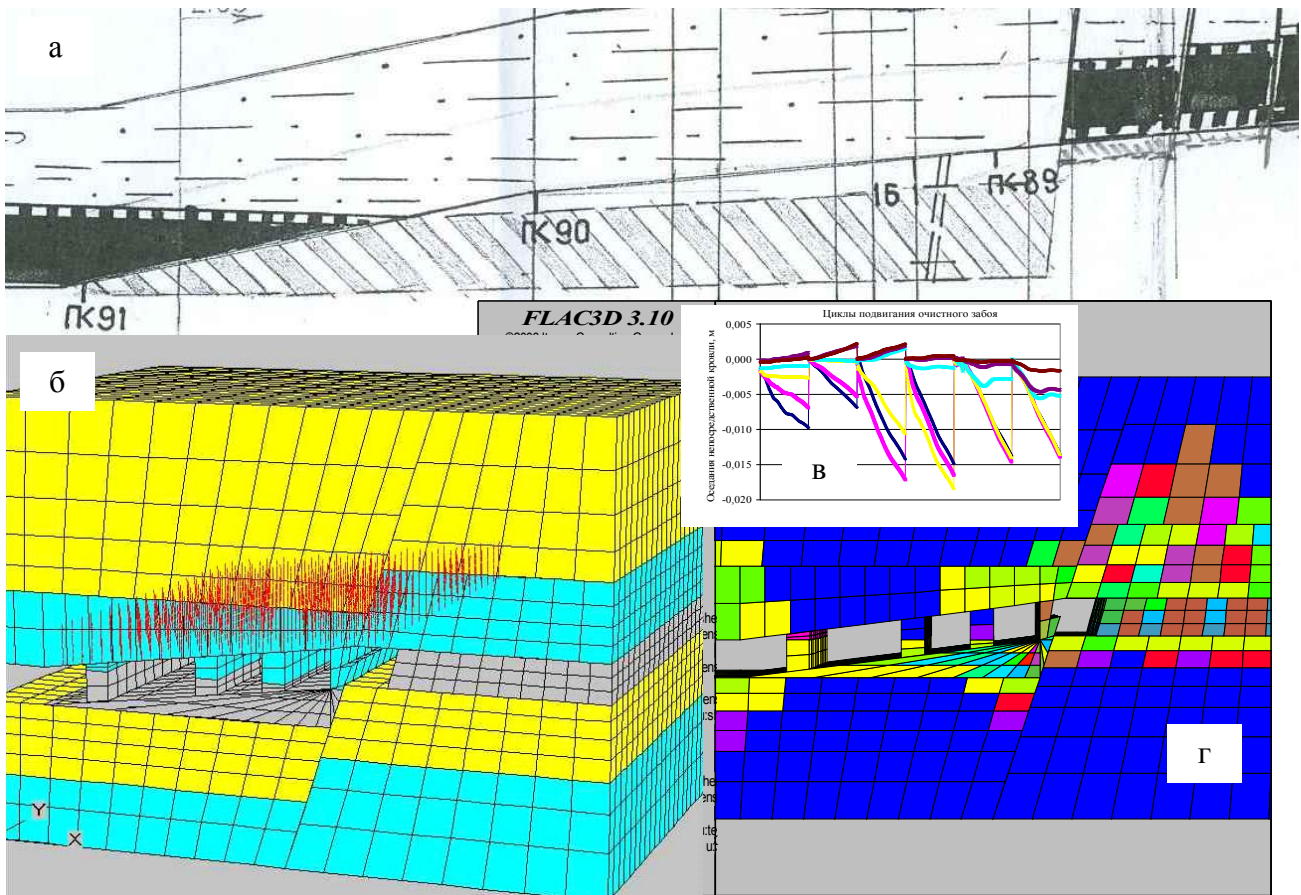


Рис. 9. Дослідження напружено-деформованого стану масиву навколо малоамплітудного порушення під час його переходу очисним вибоєм: (а) - геологічний розріз МАП; (б) – розрахункова схема суміщена з технологією переходу через спеціальну камеру; (в) – кінематика зрушень покрівлі і підшви пласта під час переходу; (г) – розподіл позамежного стану масиву навколо МАП під час переходу

(рис. 9,в,г) була розроблена і запатентована оригінальна технологія переходу МАП через так звану перехідну камеру, яку проходять заздалегідь уздовж зміщувача порушення (фрагмент (б) рис. 9). За допомогою FLA3D обґрунтовано раціональні параметри комбінованого кріплення перехідної камери у вигляді анкерів і наливних тумб.

В умовах економічної конкуренції зростання інтенсивності видобутку корисних копалин призвело до того, що на межі тисячоліть вугільні, залізорудні, поліметалічні, золотовидобувні шахти Південно-Африканської Республіки, Норвегії, США, Германії, Польщі, України, та інших країн почали стикатись з **проблемами динамічних руйнувань масивів гірських порід**, які відбуваються внаслідок підвищення темпів посування вибоїв гірничих виробок. Варто зауважити, що небезпечні динамічні ефекти з'являються у геологічних умовах, які раніше вважались безпечними з точки зору ймовірності гірських ударів. Такі небезпечні явища супроводжуються техногенною сейсмікою, розвитком масштабних зависань породних шарів й порожнин, які утворюються під час інтенсивного видобутку корисних копалин а потім обвалюються з виділенням кінетичної енергії. Такі порожнини в умовах вуглевидобутку акумулюють вибухонебезпечний метан, який з іншого боку є цінним енергетичним супутнім продуктом. Техногенна сейсміка, енергія якої накопичується природним шляхом, може також бути індикатором малоамплітудних порушень, які є джерелом небезпечних газодинамічних явищ.

У зв'язку з цим FLA3D використовується для встановлення закономірностей накопичення потенційної енергії деформування гірського масиву та її вивільнення у вигляді динамічного руйнування під час видобутку корисних копалин з темпами, які неухильно зростають, що має велике значення для безпечної інтенсивної розробки підземних українських родовищ.

Для забезпечення достовірності результатів моделювання була досліджена фізика динамічних руйнувань масиву гірських порід з урахуванням швидкості навантаження, яка пропорційна темпам посування очисних вибоїв. Фізична модель була інтегрована у платформу моделі FLA3D, що дало змогу отримати координати ділянок, на яких відбуваються динамічні руйнування масиву навколо очисного вибою, що швидко рухається (рис. 10,а). Достовірність результатів прогнозу небезпечних динамічних подій техногенної природи підтвердилась збіжністю розподілення енергії техногенної сейсміки у моделі (темна гістограма на рис. 10,б) і в природі (світла гістограма) а також результатами моніторингу подій в шахтних умовах (рис. 10, в).

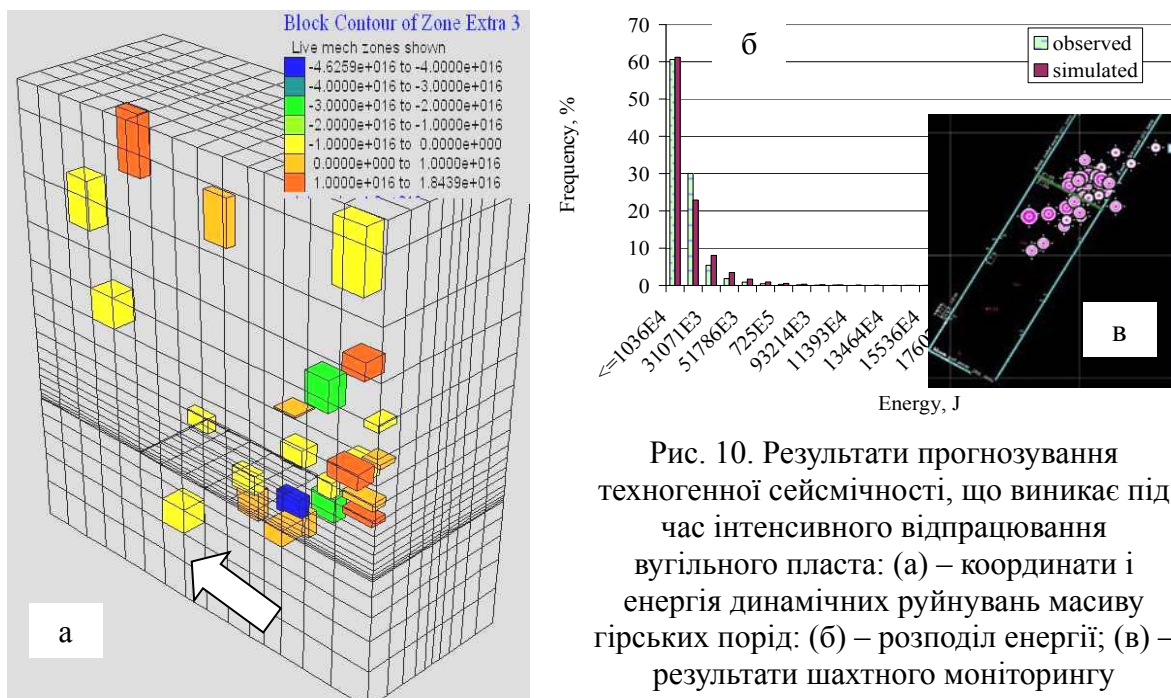


Рис. 10. Результати прогнозування техногенної сейсмічності, що виникає під час інтенсивного відпрацювання вугільного пласта: (а) – координати і енергія динамічних руйнувань масиву гірських порід; (б) – розподіл енергії; (в) – результати шахтного моніторингу

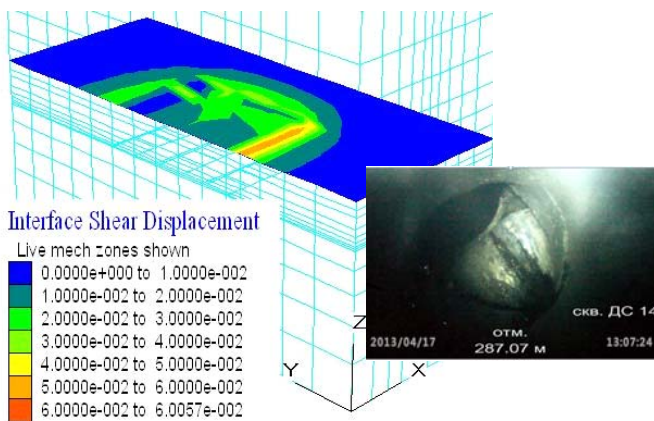


Рис. 11. Розподіл зсуву у площині контакту водоносних пісковиків та підстилаючи їх порід з високим вмістом глинистих мінералів

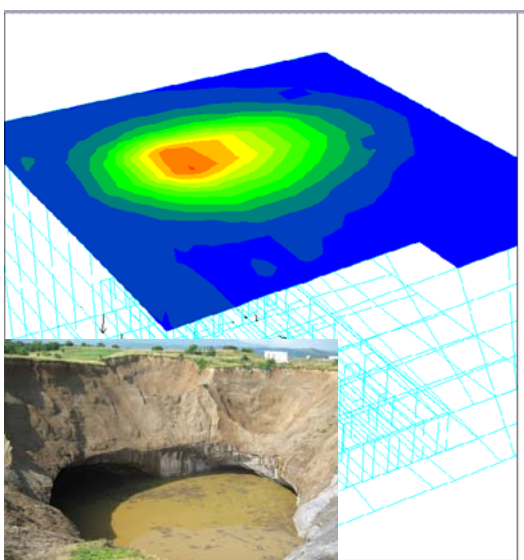


Рис. 12. Моделювання провалу земної поверхні над покинутою шахтою у м. Солотвіно

наслідків. На рис. 14 наведені результати моделювання фільтрації забруднювача, який прорвався з нафтосховища, побудованого на зміщувачі диз'юнктивного порушення, яке було замасковане наносами. Така катастрофа ймовірна як техногенний наслідок активізації зрушень земної поверхні під час її підробки довгими очисними вибоями, або у весняний

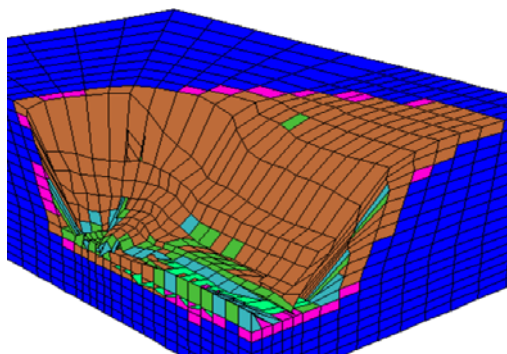


Рис. 13. Моделювання зсуву бортів кар'єру

На рис. 11 наведено розподіл зсуву породних шарів один відносно одного під час підробки товщі очисним вибоєм, напрямком посунання якого вказано стрілкою на рис. 10,а і здійснювалось у 5 етапів з темпами 200м/доб. Такі зосереджені зсуви приводять до перерізування дегазаційних свердловин, які буряться з земної поверхні (знімок на рис. 11). Завдяки комп'ютерній моделі вдалось встановити, що найбільш імовірні місця, де можливі такі пошкодження свердловин приурочені до контактів водоносних шарів порід з глинистими породами. Розроблена методика прогнозу найвірогідніших ділянок товщі, де може бути пошкоджена дегазаційна свердловина. Обгрунтовані і запатентовані способи захисту таких свердловин [8].

Модель FLA3D застосована для **дослідження провалів земної поверхні над покинутими шахтами та зсувів ґрунтів і бортів кар'єрів.** Доведено, що провалу передують ряд спряжених гідрогеологічних і геомеханічних процесів, що знаходяться у складній взаємодії й породжують кластерну динаміку у вигляді зустрічно орієнтованих зсувів уздовж контакту рудного тіла та покривних порід, й вихрових збурень, які можуть бути використані у ролі передвісників катастрофічного провалу (рис. 12).

Специфічна кластерна мозаїка переміщень точок на земній поверхні є перспективним індикатором катастрофічного зсуву схилу або бортів кар'єру (рис. 13) [9].

Модель FLA3D придатна для **дослідження екологічних катастроф та їх довготривалих наслідків.** На рис. 14 наведені результати моделювання фільтрації забруднювача, який прорвався з нафтосховища, побудованого на зміщувачі диз'юнктивного порушення, яке було замасковане наносами. Така катастрофа ймовірна як техногенний наслідок активізації зрушень земної поверхні під час її підробки довгими очисними вибоями, або у весняний період, коли наповнювач зміщувача зволожується збитковими повеневидами водами. Активізація зрушень земної поверхні показана на рис. 14,а, причому циліндрична ємкість руйнується у нижній частині від розтягуючих деформацій. На фрагменті (б) показаний момент фільтрації забруднювача через тиждень після того, як почався витік нафти. Забруднювач розосереджується уздовж сили тяжіння і рухається у вигляді концентрованого валу, попереду якого лідирує менш концентрована хвиля, а позаду залишається «хвіст» потоку. Концентрація забруднювача у процесі перколяції поступово знижується, але у момент

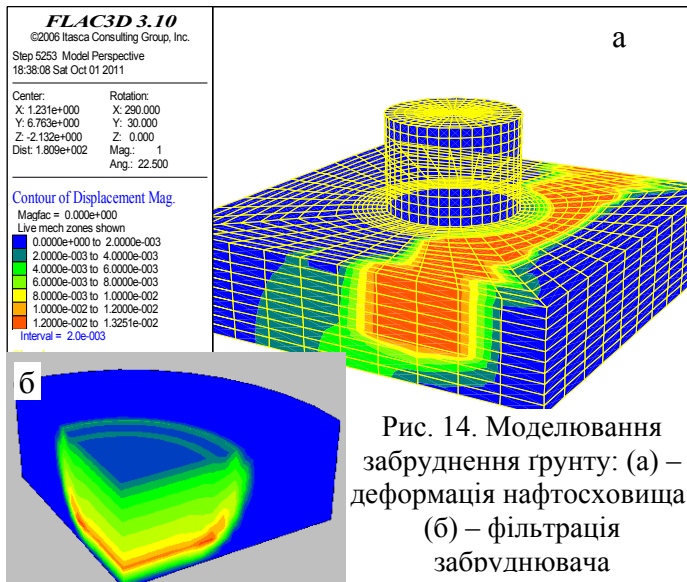


Рис. 14. Моделювання забруднення ґрунту: (а) – деформація нафтосховища; (б) – фільтрація забруднювача

зустрічі з водоупором знову збільшується, після чого починається розповзання забруднювача по границі водоупору. Такий характер руху забруднювача накладає певні вимоги до методів нейтралізації екологічної катастрофи та усунення її наслідків.

Висновки

Комп'ютерні моделі, математична основа яких базується на другому законі Ньютона мають переваги у порівнянні з традиційними моделями, що опираються на варіаційні принципи. Моделі нового покоління вільні від проблеми збіжності рішення й прямо враховують час протікання фізичних процесів, що

приваблює практиків, які повинні вирішувати складні нестационарні задачі в галузі гірництва. Моделі дозволяють відтворювати великі деформації масиву гірських порід, що вимірюються метрами, прямо враховують темпи посування вибоїв і природно пристосовані для вирішення динамічних та нестационарних задач, які переважають у галузі переробки корисних копалин, безпеки гірничих робіт, захисту екології довкілля. Наведені переваги продемонстровані на конкретних прикладах вирішення практичних задач гірництва.

Список літератури

1. Zienkiewicz, O.C.; Taylor, R.L.; Zhu, J.Z. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals* (Sixth ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 0750663200.
2. Васидзу К. Вариационные методы в теории пластичности и упругости.-М.: Мир, 1987.-542с.
3. Katsaga T. (2016). Stability evaluation of underground opening using a Discrete Fracture Network Engineering approach. *Applied Numerical modeling in geomechanics*.-Itasca international Inc. Paper 01-01.
4. Purvance, M. D., D. Russell, D. Potyondy and S. Emam (2011). "Spatial Searching and Contact Detection in PFC 5.0," in *Continuum and Distinct Element Modeling in Geomechanics — 2011* (Proceedings, 2nd International FLAC / DEM Symposium, Melbourne, February 2011), Paper 14-01, pp. 783-790. D. Sainsbury et al., Eds. Minneapolis: Itasca International Inc.
5. Назимко И.В. Исследование особенностей перераспределения напряжений и деформаций подрабатываемой толщи при разной скорости подвигания очистного забоя/ Назимко И.В., Подкопаев С.В, Шевцов В.А./ ISSN 1682-1092. Проблемы гірського тиску. 2011. №19.-С.165-182.
6. Назимко В.В. Влияние саморасклинивания горных пород в окрестности горной выработки на их упрочнение / В.В. Назимко, А.А. Лаптеев, В.П. Сажнев// Известия донецкого горного института. – 1996. – №2. – С. 28 30.
7. Nazymko, V., & Grinirov, V. (2016). Implementing FLAC3D model for simulating deformation mechanism of steel frame support set by actual profile. *Mining of Mineral Deposits*, 10(1), 57-62. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.057>.
8. Diedich, I. Assessment of goaf degassing wells shear due to their longwall undermining/ I.Diedich, V.Nazimko/ *Progressive Technologies of Coal, Coalbad Methane, and Ores Mining*. - The Netherlands: CRS Press/Balkema, 2014: 137-140.
9. Nazimko V.V. and Nazimko I.V. (2002). Investigation of Land-Slide Development. International Conference on Civil Engineering CEWorld, USA, 9-10 August 2002. Virtual Presentation in section Land Slide Development. Geotechnology.