

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Оксани Олексіївни Вовк «Управління напружено-деформованим станом підроблюваного масиву для підвищення стійкості природних і інженерних об'єктів при сейсmodинамічних навантаженнях» представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – Геотехнічна і гірничча механіка.

Вугільний сектор виробництва в Україні є одним із найважливіших при вирішенні проблеми енергозабезпечення, оскільки базується на запасах власних енергоресурсів, достатніх задовольнити потреби як виробничої сфери, так і житлово-комунального сектору при умові відповідного розвитку вугледобувної галузі, що є досить складною задачею.

Поверхня Землі, як і вся надпластова товща, внаслідок виймання порід і вугілля з утворенням порожнини, зазнає різновекторних, знакоперемінних деформаційних впливів, що призводить до пошкодження або руйнування інженерної інфраструктури, деформації дна водойм із тріщино утворенням, порушенням стійкості укосів та схилів.

В підземних умовах розробка вугільних пластів сприяє виникненню гірничих ударів безпосередньо в пласті або породах покрівлі, небезпечних для виробничого персоналу в при забійній зоні та підземних і поверхневих об'єктів через вплив сейсмічних високоенергетичних коливань, що емітуються з вогнища у навколишній простір.

Тема дисертаційного дослідження О.О. Вовк сформульована в рамках необхідності вирішення означених невідкладних проблем і її актуальність не підлягає сумніву. Робота відноситься до категорії комплексних, в якій розглянуто декілька груп механічних задач (деформації поверхні під дією статичних та статико-динамічних силових полів; деформаційні незворотні процеси в зоні вогнища гірничого удару; виникнення та рух по шаруватому

неоднорідному середовищу сейсмічних хвиль). Тому важливо було знайти інваріантний методичний показник, здатний співставити алгоритми задач в усіх зазначених напрямках досліджень. Таким показником дисертанткою визначений енергетичний критерій, який оцінює фізико-механічний стан матеріалу середовища в незайманому (питома енергія деформації стискання і зсуву) та деформованому незворотно (руйнування, зсув), або в межах пружних констант (щільність енергії в сейсмічних хвилях із відстанню). Ще одним досить вдалим методичним чинником, запропонованим у досліджуваних схемах, слід назвати метод порівняльних розрахунків, завдяки якому авторка отримала можливість розробити рекомендації щодо найбільш прийнятних емпіричних співвідношень для отримання необхідних деформаційних характеристик.

### **Зміст дисертації та загальні висновки.**

Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, що викладено на 347 сторінках комп'ютерного тексту. Робота містить 64 таблиці, 84 рисунки, список використаних джерел із 146 найменувань на 17 сторінках та 5 додатків на 18 сторінках.

*У вступі* переконливо обґрунтовано актуальність проблеми, зв'язок з науковими програмами та темами, визначені головні напрямки досліджень.

*Перший розділ* присвячено детальному аналізу сучасного стану розвитку вугледобувної галузі, що супроводжується низкою технологічних ускладнень, вимагає вирішення ряду задач, у першу чергу пов'язаних із деформаційними процесами. Тому, в розділі проаналізовано існуючі літературні джерела щодо розвитку негативних деформаційних явищ та процесів в підроблюваному масиві і визначено рівень досліджень, зокрема, механізму виникнення і руху мульди опускання за різними критеріями, в тому числі, за горизонтальними деформаціями, як нормативному чиннику. Одним із головних недоліків існуючого положення з цих питань є відсутність узагальнюючих розробок, що об'єднали б найбільш прогресивні,

обґрунтовані і перевірені практикою елементи досліджень, виконаних на різних методологічних базах.

Досить ґрунтовно висвітлені наявні матеріали з питань промислової сейсміки, переважно по вивченню зародження і руху сейсмовибухових хвиль та їх взаємодії з фундаментами та підвалинами поверхневих об'єктів інженерного і природного походження. Проаналізовано головні недоліки існуючих емпіричних залежностей, які описують процеси виникнення і розповсюдження пружних коливань, визначення початкових параметрів і їх зміни з відстанню від джерела збурення та невідповідність і розбіжність результатів, отриманих фахівцями в аналогічних задачах. Відзначено обмеженість даних стосовно сейсміки гірничих ударів та відсутність надійних методик оцінки як, безпосередньо, вогнища, так і сейсмічної компоненти. При цьому, головні напрями розробки нормативних показників сейсмобезпеки у переважній більшості публікацій ґрунтуються на відомій концепції Садовського, з висновком, що найбільш корелюючою ознакою є масова швидкість. Авторка вважає за необхідне, принаймні для випадків сейсміки гірничих ударів, розробку нормативів, що виходять з інших концептуальних підходів, утому числі, за енергетичним критерієм та фактору прискорення руху часток ґрунту в сейсмічній хвилі.

Відзначається недостатній рівень врахування часових параметрів хвильових процесів, що важливо для реального силового впливу на споруди та їх окремі конструктивні елементи. З викладених і проаналізованих матеріалів стосовно механізму виникнення зон критичних концентрацій напруг в призабійній зоні, що завершуються гірничим ударом, авторка доходить висновку щодо важливості удосконалення існуючих і розробки нових методів прогнозу вірогідності виникнення та шляхів попередження або локалізації цих геодинамічних проявів із відповідним визначенням критеріїв і техніко-організаційних заходів та рекомендацій, що сприятимуть досягненню максимальної ефективності.

У другому розділі роботи викладено результати досліджень впливу підземних розробок на зміну напружено-деформованого стану масиву і земної поверхні аналітично-емпіричного виду та із застосуванням моделювання є наступні висновки та рекомендації:

1. Встановлено аналітичні залежності утворення і руху мильди опускання услід за просуванням вибою, її геометричні параметри і зсувні деформації в залежності від властивостей порід підроблюваного масиву у вигляді коефіцієнта  $N$  і при поверхневого шару ґрунту, на основі чого розроблено класифікацію методів прогнозу деформації поверхні за параметрами  $\varepsilon_r, T, R$  (табл. 2.3) та запропоновано критерій безпеки  $K_0 \leq 1$  в залежності від ступеня метаморфізму (за Озеровим І.Ф.).

2. Отримано закономірності впливу підземних розробок на величину коефіцієнта стійкості  $K_y$  методом моделювання, в тому числі з урахуванням залежності критичних параметрів горизонтальних деформацій, коефіцієнта  $C$  та впливу сейсmodинамічної складової (інерційної сили) на площину ковзання.

3. Досліджено особливості деформації дна водойм під впливом підземних розробок та надано рекомендації щодо мінімізації горизонтальних деформацій для уникнення появи інфільтраційних каналів.

4. Встановлено залежності впливу динамічних навантажень на розвиток деформаційних процесів в ґрунтах в режимі багаторазової повторюваності з отриманням конкретних функціональних залежностей поміж основними параметрами.

Зміст *третього розділу* представляє собою дослідження з питань виникнення сейсмічних коливачь різного походження, їх руху по середовищу зі змінними фізико-механічними характеристиками та взаємодії із підземними та поверхневими об'єктами, частково на новій методичній базі. Зокрема, авторка, на відміну від загальноприйнятого уявлення пропонує розглядати в зоні дії вогнища два сейсмовипромінювачі зі своїми початковими параметрами, враховувати на швидкісній межі кут падіння



хвилі  $\alpha$  при визначенні коефіцієнта проходження за допомогою поправочного коефіцієнта  $1 - \sin \alpha$  та фактор зміни пружних характеристик середовища в однорідних шарах, а не лише на швидкісних межах. Ці положення покладено в основу подальшого дослідження динаміки хвильових процесів, зміст яких наведено в розділі V дисертації.

В четвертому розділі розглянуто питання стосовно виникнення гірничих ударів, як наслідку накопичення пружної енергії в зоні опорного тиску, прогнозу вірогідності прояву та методів попередження або послаблення силових енергетичних параметрів в місцях ведення гірничих робіт. В основу розробки рекомендацій по попередньому прогнозу ударонебезпеки авторкою покладено концепцію виникнення явища за енергетичною та деформаційно-силовою ознаками, що враховують рівень потенціальної енергії вугілля і вміщуючих порід та її перерозподіл внаслідок виїмки вугілля з утворенням порожнин і порушення сталих гравітаційних полів або нерівномірних головних напруг в межах тектонічних аномалій, які представляють собою суму літологічних і тектонічних складових. Серед деформаційно-силових в роботі пропонується використовувати критерій  $K_{min}$  - відношення критичного гравітаційного тиску до міцності вугілля, при цьому  $K_{min} \leq 1$ . За енергетичними ознаками в роботі надається перевага відношенню ефективної енергії газу  $W_o$  до енергії пружного відновлення пласту  $W_s$ . Остання зростає з глибиною. Критеріями викидами викидоударонебезпеки є функція  $B(W_o, W_s)$  при  $B \geq 1$ , коли  $\frac{W_s}{W_o} > 1$ . Відзначається, зокрема, що гірничі удари можливі при відсутності метану в пласті, тобто коли  $W_o \rightarrow 0$ , отже попередня дегазація вугільної призабійної ланки зменшує, проте не виключає вірогідності гірничого удару.

Не зупиняючись докладно на викладенні усіх результатів цього розділу відзначимо декілька найбільш вагомих.

1. На основі геомеханічної енергетичної моделі авторкою запропоновано оцінку динамічності гірничого удару здійснювати

застосувавши коефіцієнт  $K_\partial$  у вигляді співвідношення  $K_\partial = W_m / W_p$  (формула 4.33).

2. Запропоновані співвідношення для визначення параметрів напружено-деформованого стану, як функцій міцнісних характеристик порід покрівлі (формули 4.17-4.21).

3. Визначено умови впливу цілика на нижче розташований пласт (рис.4.12, формула 4.36).

4. Запропоновано метод прогнозу динамічних проявів на підставі лабораторних досліджень за енергетичними ознаками (рис. 4.14, формули 4.43; 4.44).

5. Розроблено комплексну класифікацію гірничих ударів (рис.4.16) та запропоновано доповнення у вигляді енергетичної оцінки ступеня ударонебезпеки (табл.4.1).

В *п'ятому розділі* наведено результати досліджень параметрів руху сейсмічних хвиль по середовищу зі змінними характеристиками реальних шаруватих середовищ виходячи з основних положень механіки суцільних середовищ і на основі концептуальних положень, викладених у третьому розділі та з використанням окремих діючих емпіричних співвідношень. Головними науково-практичними завданнями, що вирішувались в розділі, було отримання параметрів пружних хвиль трьох різновидів (P, S, R), які визначають їх інтенсивність у місці розташування джерела зародження, зміну при русі уздовж променя аж до фундаментів (підвалин) поверхневих споруд та об'єктів, з отриманням параметрів на цій кінцевій стадії; встановлення зв'язку між визначальними характеристиками (масова швидкість, прискорення, питома енергія) та кінцевою реакцією об'єкта до появи ушкоджень.

Наведемо приклади найбільш вагомих висновків та рекомендацій, отриманих внаслідок цих досліджень.

1. Розроблено методику знаходження параметрів сеймовипромінювачів на основі вивчення механізму незворотного деформування породи навколо джерела сеймовипромінювань з використанням зонної моделі Родіонова. В розрахунках швидкості S-хвилі пропонується введення поправочного коефіцієнта  $\sqrt{E_{\text{дин}}/E_{\text{ст}}}$ , що відображає характер зсувних деформацій на відміну від деформацій стискання в динамічному режимі.

2. На основі аналізу розрахункових даних, отриманих за методиками різних авторів, запропоновано емпіричні залежності для визначення періоду коливань в поздовжній хвилі у виді функції  $T_p = f(Q_{BP}^{1/6})$ , в поперечній  $T_S = f(Q_{BP}^{1/3})$ , в поверхневій -  $T_R = f(Q_{BP}^{1/6})$ .

3. В розрахункових співвідношеннях для знаходження параметрів хвиль вводяться поправочні коефіцієнти впливу енергетичних властивостей ВР -  $K_{ca}, K_{ca}^P$ .

4. Показано, що співвідношення питомої енергії сейсмічних хвиль залежить від деформаційних властивостей середовища. Зокрема, зі збільшенням пластичної складової сумарна енергія Р та S-хвиль зменшується (наприклад, у вапняках у порівнянні із гранітами на 86%).

У шостому розділі докладно висвітлено матеріали досліджень закономірності руху сейсмічних хвиль по шаруватим середовищам, зміни їх початкових динамічних і енергетичних параметрів з відстанню, як уздовж променя хвилі, так і на швидкісних межах із урахуванням різниці поміж даними на початку і в кінці руху по траєкторії від сеймовипромінювача до першої швидкісної межі, або поміж ними, якщо їх дві та більше.

В роботі розглянута одна з першочергових задач – закономірності виникнення і розповсюдження сейсмічних хвиль внаслідок гірничого удару. При цьому, авторка використала як досвід промислової сейсміки з пропозиціями щодо їх удосконалення, так і нові концептуальні положення, про які вже згадувалося.

Аналізуючи методи отримання сейсмосахисних нормативів дисертантка для випадку оцінки впливу сейсмоударних коливань пропонує замість критерія масової швидкості здійснювати по фактору прискорення, більш прийняттого для такого різновиду хвиль. При цьому вихідні параметри руху визначаються за комплексним енергетичним критерієм з ознаками деформаційного механізму зонної моделі Родіонова для сейсмовибухових коливань та енергетичних підходів Клапейрона (ф-ли 6.20-6.22). Крім того, важливим блоком досліджень цього розділу і отриманих результатів слід назвати:

а) удосконалення методики визначення коефіцієнта проходження хвилі на швидкісній межі при будь-якому куті падіння  $\alpha$ , в той час, як існуючі методи дійсні лише для випадку  $\alpha = 0$  (ф-ла 6.29);

б) запропоновану методику знаходження координати початку руху R – хвилі та визначення максимальної початкової масової швидкості в ній;

в) моделювання енергетичної характеристики гірничого удару по тротиловому еквіваленту (формули 6.33, 6.34, рис. 6.4);

г) розробку шкали допустимих прискорень з урахування частотно – часового фактору з застосування поправочного коефіцієнта  $K_m = \frac{a_{mc}}{a_H}$  (ф-ла

6.41), що являє собою функцію  $K_m(m_\tau)$ ,  $m_\tau = \frac{T_R}{T_0}$  (рис. 6.7, табл. 6.5);

д) пропозицію щодо знаходження коефіцієнта переходу енергії R – хвилі в фундамент споруди  $K'_3$ ;

е) пропозицію щодо визначення сейсмонебезпечних показників взаємодії R – хвиль з об'єктами, що захищаються, за допомогою енергетичного коефіцієнта  $E_R$  (рис. 6.9).

Наведені положення складають суттєву частку наукових досягнень дисертантки.

У сьомому заключному розділі сформульовані науково – технологічні рекомендації стосовно запобігання виникненню гірничих ударів або



зменшення рівнів їх енергетичних і динамічних проявів у більш розширеному вигляді, ніж це висвітлено в попередніх розділах. З цією метою в розділі викладені методи керування геомеханічними процесами відповідними науково – обґрунтованими, організаційно – технологічними методами, здійснюваними як перед початком очисних робіт, так і в процесі виймання вугілля. При цьому використовувався практичний світовий досвід гірничо – видобувних підприємств, щодо реалізації технологічних спеціальних заходів і регулювання виробничих процесів, направлених на контроль за напруженим станом породного і вугільного масиву в зоні впливу гірничих розробок на призабійну ділянку.

В роботі висвітлені найбільш ефективні науково – технічні розробки, що сприяють уникненню динамічних явищ, або, принаймні, їх локалізації в заздалегідь передбачуваних параметрах в просторі і часі. До них відносяться методи керування покрівлею (наприклад, із закладкою), дезінтеграція і дегазація, хімічна обробка покрівлі над робочою зоною, оптимізація швидкості посування забою, ширина захвата тощо.

Розглянуті та вирішені також задачі сейсмобезпеки підземних споруд при застосуванні вибухових методів обробки призабійних діляниць вугілля та вміщуючих порід, відзначені особливості формування таких сейсмічних хвиль зважаючи на інші енергетичні показники ВР, допущених для підземних вибухових робіт, з відповідними пропозиціями по коригуванню емпіричних співвідношень, отриманих на відкритих розробках. Запропоновані геометричні параметри технологій розробки ударонебезпечних пластів в захисній зоні, утворюваній випереджальним вийманням допоміжного (захисного) пласта, розташованого над- під- або з обох боків робочого.

Всі вищезгадані узагальненні рекомендації, як і багато інших в попередніх розділах, виконані стосовно гірничо – геологічних, літологічних та виробничих умов, притаманних вугледобувній промисловості України і будуть корисними для багатьох підприємств цієї галузі. Частково

напрацювання, що містяться в роботі, вже знайшли певне застосування в наукових розробках та на виробництві. Вважаю, що з часом обсяг їх реалізації буде зростати.

Декілька зауважень і побажань до дисертаційного дослідження.

1. Параметри енергобалансу держави постійно уточнюються, отже рівні вуглевидобутку в перспективі не визначенні, планові показники енергетичних програм в частині співвідношення видів енергоресурсів неминуче будуть переглядатись під впливом різних обставин, на що слід було б звернути увагу.

2. В розділі I, аналізуючи світові тенденції розвитку вугільної енергетики, авторка перелічує основні передумови інноваційного і екологічного спрямування для забезпечення мінімального антропогенного негативного впливу на навколишнє середовище. Проте в подальших викладках вони використані лише частково і в кінцевих рекомендаціях не пропонуються.

3. В аналізі літературних джерел задані численні розробки стосовно опису механізму деформацій підроблюваного масиву і поверхні Землі, проте чітко не виокремленні ті підходи і методика, що були використані в наступних розділах роботи.

Як свідчать матеріали зокрема розділу II найбільш прийнятними і корисними авторка визначила, в першу чергу, графо – аналітичні розробки та методичні напрацювання і результати досліджень проф. І. Озерова, що з успіхом використовувались, хоча в оглядовій частині на цьому не наголошувалось.

4. В роботі методом моделювання отримані суттєві результати по впливу підземних робіт на величину коефіцієнта стійкості  $K_v$  і коефіцієнта небезпеки  $K_H$ . Останньому в дисертації приділено недостатньо уваги, на яку він, вочевидь, заслуговує.

5. В роботі наведені важливі результати щодо удосконалення нормативних показників сейсмонебезпеки за критерієм прискорення, більш

прийняттого для оцінки дії сейсміки гірничих ударів з урахуванням впливу поправочного коефіцієнта  $K_m = \frac{a_e}{a_H}$ , але лише для будівель III категорії.

Доцільно було б виконати розрахунки і для будівель II та IV категорій.

6. В роботі недостатньо відображені проблеми взаємодії підземних гірничих виробок з сейсмічними хвилями.

Помічені деякі помилки і редакційні стилістичні неточності.

#### Загальний висновок

Дисертація к.т.н., доцента Вовк Оксани Олексіївни «Управління напружено-деформованим станом підроблюваного масиву для підвищення стійкості природних і інженерних об'єктів при сейсmodинамічних навантаженнях» є завершеною науково – дослідною роботою, присвяченою вирішенню важливої науково – практичної, техніко – екологічної проблеми розвитку вугледобувної галузі, як одного з основних джерел забезпечення паливними енергоресурсами виробничих, комунально – житлових і спеціальних потреб держави. Дослідження здійснювались на рівні сучасних науково – методичних положень та власних критеріїв і методів досліджень. В роботі вирішено комплекс задач по розробці наукових основ керування геомеханічними процесами в підроблюваному породному масиві в трьох напрямках: встановленню закономірностей деформації поверхні під дією статичних та статико - динамічних силових полів; механізму започаткування протікання незворотних деформаційних процесів в зоні осередку гірничого удару та його околицях; виникнення і розповсюдження сейсмічних хвиль, їх взаємодії з фундаментами інженерних та підвалинами природних об'єктів.

Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації. В дисертації і авторефераті не використовувались матеріали кандидатської дисертації.

Основні положення дисертації оприлюдненні в повному обсязі в публікаціях, дисертантки, зокрема, в фахових наукових виданнях, в тому числі виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, а також багатьох збірках

матеріалів конференцій. Науково – технічні розробки і практичні рекомендації роботи реалізовані в дослідженнях ІГМ НАН України, НДІБК, використовуються в учбовому процесі НТУУ «КПІ», при підготовці нормативів сейсмонебезпеки та безпосередньому впровадженні у виробництво з отриманням економічного ефекту понад 100 тис. грн. Дисертаційна робота Вовк О.О. повністю відповідає вимогам нормативних документів МОН України, п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а Вовк Оксана Олексіївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – Геотехнічна і гірнична механіка

Офіційний опонент

Зав.відділу Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України,  
д.т.н., проф., Заслужений діяч науки  
і техніки України

П.З. Луговий

Підпис Лугового П.З. засвідчую:

Вчений секретар Інституту  
док. фіз.-мат. наук



О.П. Жук