

УДК 621.891:621.316

С.Ф. Філоненко, д.т.н., проф.,
О.П. Космач, м.н.с**ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ АМПЛІТУДНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЗМІНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Національний авіаційний університет

Проведено моделювання сигналів акустичної емісії при зміні твердості елементів композиційних матеріалів, які навантажуються поперечною силою. Встановлені закономірності зміни амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів акустичної емісії в залежності від твердості композиційних матеріалів. Проведено опис отриманих залежностей з їх статистичними оцінками.

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, поперечна сила, неоднорідність, закономірність, амплітуда, енергія.

Постановка проблеми

В сучасній техніці все більше використовуються прогресивні види матеріалів, одними з яких є композиційні матеріали (КМ). До методів контролю та діагностики стану таких матеріалів приділяється значна увага. Особливості структури та процесів руйнування КМ зумовлюють використання методів, які мають високу чутливість до процесів, що розвиваються у КМ при їх навантаженні. Це обумовлено необхідністю своєчасного виявлення пошкоджень КМ для попередження його руйнування. Одним з таких методів досліджень, застосування якого постійно зростає, є метод акустичної емісії (АЕ). Результати досліджень, що проводяться з використанням АЕ, спрямовані на розробку методів контролю, діагностики та моніторингу стану КМ. Однак значні складнощі, які пов'язані з визначенням процесів формування акустичного випромінювання та його інтерпретацією, обмежують використання методу АЕ в контролі та діагностики стану КМ.

З цієї точки зору, важливе значення мають теоретичні дослідження процесів акустичного випромінювання, зокрема, його опис та визначення закономірностей його зміни при розвитку процесів руйнування КМ. При цьому важливою задачею є визначення впливу різних факторів на розвиток процесів руйнування КМ, і, відповідно, формовані сигнали АЕ. Її вирішення дозволить проводити інтерпретацію акустичного випромінювання, визначити інформативність параметрів формованих сигналів АЕ та закономірності їх зміни. Це є основою для розробки нових методів контролю та діагностики стану виробів з КМ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Однією з найпоширеніших концепцій, яка використовується при дослідженні процесів руйнування КМ, є концепція fibre bundle model (FBM). У її основі лежить представлення КМ у вигляді пучка волокон, а руйнування КМ у вигляді руйнування його волокон або елементів [1–6]. Концепція використовується при дослідженні або пошкодженості КМ або при дослідженні закономірностей руйнування його елементів. В останньому випадку, дослідження проводяться з урахуванням безперервності протікання процесу руйнування елементів КМ з урахуванням перерозподілу напружень на елементи, що залишаються [1–6]. Відповідно до першого напрямку, дослідження руйнування КМ при його навантаженні розглядається як процес неперервного накопичення пошкоджень. При цьому аналізується параметр пошкодженості, який характеризує відхилення характеристик пружності від їх початкових значень, тобто досліджується міра пошкодженості матеріалу. Другий напрямок теоретичних досліджень базується на тому, що основне навантаження витримують елементи КМ, а руйнування КМ відбувається за рахунок руйнування його елементів. При цьому вважається відсутність впливу матриці на процеси руйнування.

При дослідженні процесів руйнування КМ, тобто закономірностей руйнування його елементів, застосовується і метод АЕ [7, 8]. Однак результати проведених досліджень не дозволили отримати математичний вираз формованого сигналу АЕ, що пов'язано з існуванням

невизначеності отриманих функцій зміни кількості елементів, що залишаються, у момент часу повного руйнування КМ.

Аналітичний опис сигналу АЕ, який формується при руйнуванні КМ під дією поперечної сили, було отримано в роботах [9, 10]. При побудові моделі сигналу АЕ були враховані закономірності зміни еквівалентного осьового напруження, яке виникає при розвитку процесу руйнування КМ за умови [0, 1] рівномірного розподілу щільності ймовірності його елементів за міцністю, а також кінетика процесу руйнування елементів КМ. Згідно отриманих результатів, вирази, які описують кількість незруйнованих елементів КМ $N(t)$ (елементів, що залишаються) у часі, а також формований сигнал АЕ $U(t)$ при руйнуванні елементів КМ поперечною силою, представлено в виді

$$N(t) = N_0 e^{-\nu_0 \int_{t_0}^t r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})] dt} \quad (1)$$

$$U(t) = U_0 \nu_0 [\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})] \times \\ \times e^{-\nu_0 \int_{t_0}^t r[\alpha t(1-\alpha t)(1-g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1-\alpha t_0)(1-g\sqrt{\alpha t_0})] dt} \quad (2)$$

де N_0 - загальна (початкова) кількість елементів КМ; ν_0, r - параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик КМ; α - швидкість прикладення навантаження на КМ; t, t_0 - відповідно, поточний час та час початку руйнування елементів КМ; g - параметр, який залежить від геометричних розмірів елементів КМ; $U_0 = N_0 \beta \delta_s$ - максимально можливе зміщення при миттєвому руйнуванні зразка

КМ, який складається з N_0 елементів; β - коефіцієнт пропорційності між амплітудою одиночного збурення, яке виникає при руйнуванні одиночного елемента та напруженням руйнування; δ_s - параметр, чисельне значення якого визначається формою одиночного імпульсу збурення.

Згідно отриманих виразів (1) та (2), закономірності зміни кількості елементів, що залишаються при руйнуванні КМ, і, відповідно, формованого сигналу АЕ залежать від чинників, які пов'язані як з умовами навантаження КМ, так і з його геометричними та фізико-механічними характеристиками. Безумовно, що визначення впливу фізико-механічних характеристик КМ на характер розвитку процесу руйнування його елементів, а також на закономірності зміни параметрів формованих сигналів АЕ є важливим, з точки зору, методів контролю та діагностики стану КМ.

Формулювання мети статті

В роботі буде проведено моделювання сигналів АЕ в часі, які формуються при руйнуванні КМ поперечною силою в залежності від фізико-механічних характеристик елементів КМ. Буде проведено аналіз амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ з визначенням закономірностей їх зміни при зміні параметру, який за порядком величини порівняний з періодом коливань гратки твердого тіла і чутливий до фізико-хімічної природи і структури твердого тіла (елементів КМ). Також буде проведено математичний опис отриманих закономірностей зміни параметрів сигналів АЕ та визначено їх статистичні характеристики.

Результати досліджень

Дослідження сигналів АЕ, які було проведено в роботах [10, 11], показали, що при навантаженні КМ поперечною силою неперервності процесу руйнування його елементів

відповідає неперервність формованого сигналу АЕ. При цьому сигнал АЕ представляє собою відео імпульс, який характеризується стрімким наростанням амплітуди переднього фронту та акселераційним падінням амплітуди його заднього фронту. Результати моделювання процесу руйнування КМ, згідно (1), у вигляді графіку залежності зміни кількості елементів $\tilde{N}(t) = N(t)/N_0$, що залишаються, та формованого сигналу АЕ, згідно (2), у вигляді графіку зміни амплітуди у часі $\tilde{U}(t) = U(t)/U_0$, у відносних одиницях показано на рис. 1. При розрахунках $\tilde{N}(t)$ і $\tilde{U}(t)$ всі параметри, що входять у вирази (1) і (2), приведені до безрозмірних величин, а час представлено у нормованих одиницях. При цьому швидкість навантаження $\tilde{\alpha}$ дорівнювала $\tilde{\alpha}=100$. Час початку руйнування елементів КМ у відносних одиницях складав $\tilde{t}_0=0,001$. Граничне напруження руйнування у відносних одиницях, яке відповідає часу \tilde{t}_0 початку руйнування елементів КМ, розраховувалося згідно методики, яку розглянуто у роботах [10, 11]. Розрахунки граничного напруження проводилися за виразом, що описує зміну еквівалентних напружень в КМ при його навантаженні поперечною силою з постійною швидкістю. Для прийнятого часу \tilde{t}_0 початку руйнування елементів КМ при $\tilde{g}=0,1$ граничне напруження руйнування у відносних одиницях дорівнювало $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$. При моделюванні також було прийнято, що значення параметрів v_0 , r у відносних одиницях дорівнюють: $\tilde{v}_0=1000000$; $\tilde{r}=10000$.

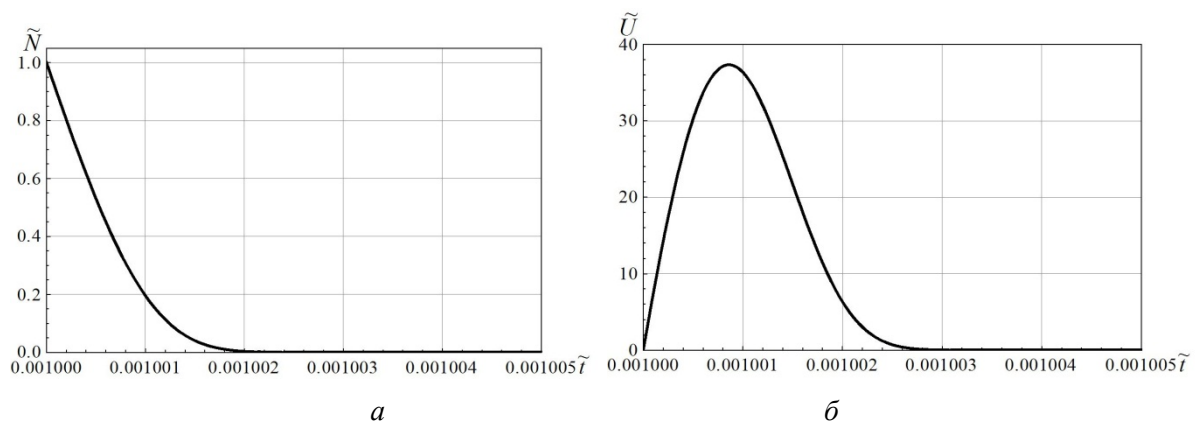


Рис. 1. Графіки залежності зміни кількості елементів, що залишаються, (а), згідно (1), та формованого сигналу акустичної емісії (б), згідно (2), в часі у відносних одиницях при руйнуванні композиційного матеріалу поперечною силою. Значення параметрів моделювання: $\tilde{\alpha}=100$; $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$; $\tilde{g}=0,1$; $\tilde{t}_0=0,001$;

$$\tilde{v}_0=1000000; \tilde{r}=10000$$

З отриманих результатів видно, що формований сигнал АЕ є відео імпульсом (рис. 1, б). Такий відео імпульс характеризується рядом параметрів, до яких відносяться: максимальна амплітуда; тривалість; потужність; енергія; площа під обвідною сигналу тощо [12]. Безумовно, що зміна параметрів, які входять до виразів (1) та (2), буде впливати на характер зміни закономірностей як процесу руйнування КМ, так і формованого сигналу АЕ. Згідно виразів (1) і (2), одним з параметрів v_0 , який за порядком величини порівняний з періодом коливань ґратки твердого тіла і чутливий до фізико-хімічної природи і структури твердого тіла, тобто елементів КМ [14]. Він характеризує нахил матеріалу до крихкого руйнування, тобто пов'язаний з крихкістю матеріалу. Тому проведемо дослідження впливу параметра v_0 на закономірності зміни кількості елементів, що залишаються при руйнуванні КМ, а також формованого сигналу АЕ.

Методика досліджень буде полягати у наступному. На першому етапі, для визначених умов моделювання при зміні значення параметру v_0 будемо спочатку проводити розрахунки

кількості елементів, що залишаються, та формованого сигналу АЕ, згідно (1) і (2). Далі за результатами розрахунків, згідно отриманих табличних даних, будемо проводити визначення параметрів формованого сигналу АЕ для кожного нового значення параметру ν_0 . На другому етапі, за результатами визначених параметрів сигналів АЕ будемо будувати залежності їх зміни з відповідним математичним описом і наступним статистичним аналізом.

При проведенні розрахунків кількості елементів, що залишаються, та формованого сигналу АЕ зміна параметру ν_0 фактично означає, що ми будемо розглядати різні КМ, які мають однакові умови навантаження. Збільшення значень параметру ν_0 означає збільшення схильності КМ до крихкого руйнування, тобто збільшення його крихкості. При проведенні розрахунків значення параметру $\tilde{\nu}_0$ у відносних одиницях будемо змінювати у діапазоні величин від 1000000 до 2000000 із кроком прирощування $\Delta\tilde{\nu}_0 = 100000$. Також будемо вважати, що навантаження КМ поперечною силою відбувається з постійною швидкістю, значення якої прийемо рівним $\tilde{\alpha} = 100$. При розрахунках параметри $\tilde{\sigma}_0$, \tilde{r} та \tilde{g} прийемо такими ж, як і при побудові графіків, які наведено на рис. 1, тобто: $\tilde{\sigma}_0 = 0,087$; $\tilde{r} = 10000$; $\tilde{g} = 0,1$.

Результати розрахунків кількості елементів, що залишаються у процесі руйнування елементів КМ поперечною силою, представлено на рис. 2.

З рис. 2 видно, що при навантаженні КМ поперечною силою збільшення значень параметра $\tilde{\nu}_0$ приводить до збільшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються, в процесі розвитку їх руйнування. Таке збільшення крутості падіння кривих означає зменшення часу протікання самого процесу руйнування елементів КМ при заданій швидкості його навантаження.

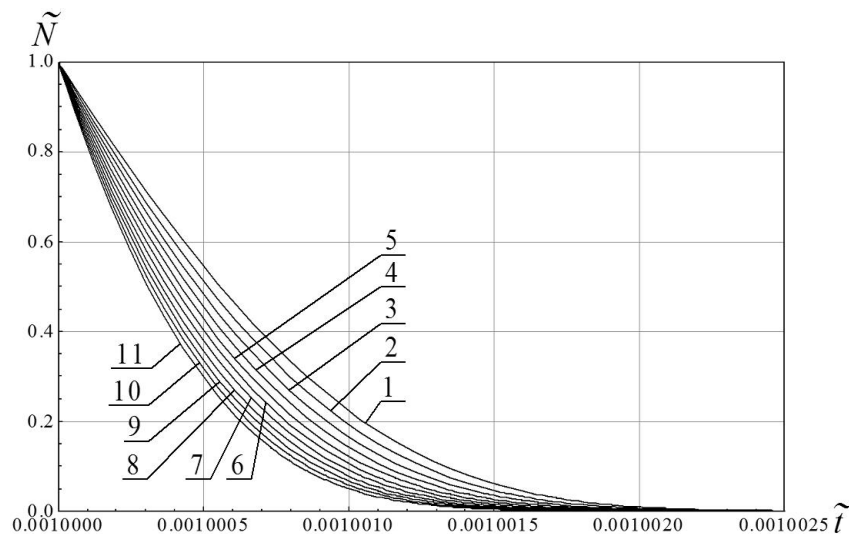


Рис. 2. Графіки зміни кількості залишених елементів композиційних матеріалів при їх руйнуванні поперечною силою у часі у відносних одиницях: 1 - $\tilde{\nu}_0 = 1000000$; 2 - $\tilde{\nu}_0 = 1100000$; 3 - $\tilde{\nu}_0 = 1200000$; 4 - $\tilde{\nu}_0 = 1300000$; 5 - $\tilde{\nu}_0 = 1400000$; 6 - $\tilde{\nu}_0 = 1500000$; 7 - $\tilde{\nu}_0 = 1600000$; 8 - $\tilde{\nu}_0 = 1700000$; 9 - $\tilde{\nu}_0 = 1800000$; 10 - $\tilde{\nu}_0 = 1900000$; 11 - $\tilde{\nu}_0 = 2000000$. $\tilde{\alpha} = 100$, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$, $\tilde{g} = 0,1$, $\tilde{t}_0 = 0,001$, $\tilde{r} = 10000$

Результати розрахунків тривалості протікання процесу руйнування елементів КМ $\tilde{\tau}$ у відносних одиницях для заданих значень параметру $\tilde{\nu}_0$ наведено у табл. 1. В табл. 1 прийнято наступне позначення: $\tilde{\tau}$ - тривалість руйнування всіх елементів КМ.

Таблиця 1 – Тривалість процесу повного руйнування елементів КМ в залежності параметру $\tilde{\nu}_0$

$\tilde{v}_0 \times 10^6$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$\tilde{\tau} \times 10^{-6}$	2,41	2,31	2,21	2,13	2,05	1,98	1,91	1,85	1,8	1,74	1,69

Результати проведеного моделювання показують (табл. 1), що при збільшенні значень параметру \tilde{v}_0 спостерігається поступове зменшення тривалості протікання процесу його руйнування. Так, при збільшенні значень параметра \tilde{v}_0 у 1,1 рази, тобто з $\tilde{v}_0=1,0 \times 10^6$ до $\tilde{v}_0=1,1 \times 10^6$, тривалість $\tilde{\tau}$ процесу руйнування елементів КМ зменшується у 1,04 рази. Зростання \tilde{v}_0 у 1,2 рази приводить до зменшення $\tilde{\tau}$ у 1,09 рази. При подальшому збільшенні значень параметра \tilde{v}_0 у 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9 і 2 рази тривалість $\tilde{\tau}$ процесу руйнування елементів КМ зменшується, відповідно, у 1,13, 1,17, 1,22, 1,26, 1,3, 1,34, 1,38 і 1,42 рази.

Таке зменшення часу протікання процесу руйнування елементів КМ, обумовлено збільшенням швидкості його розвитку, що, безумовно, буде впливати і на формовані сигнали АЕ. Результати розрахунків сигналів АЕ, згідно (2), для прийнятих умов моделювання при зростанні значень параметру \tilde{v}_0 наведено на рис. 3.

Отримані результати показують (рис. 3), що при збільшенні параметру \tilde{v}_0 не спостерігається принципових змін у характері формованих сигналів АЕ. Для всіх значень \tilde{v}_0 формовані сигнали АЕ представляють собою відео імпульс із різким наростанням амплітуди переднього фронту і релаксаційним падінням амплітуди заднього фронту. В той же час, збільшення значень параметру \tilde{v}_0 приводить до зменшення амплітуди формованих сигналів АЕ, а також до зменшення їх тривалості.

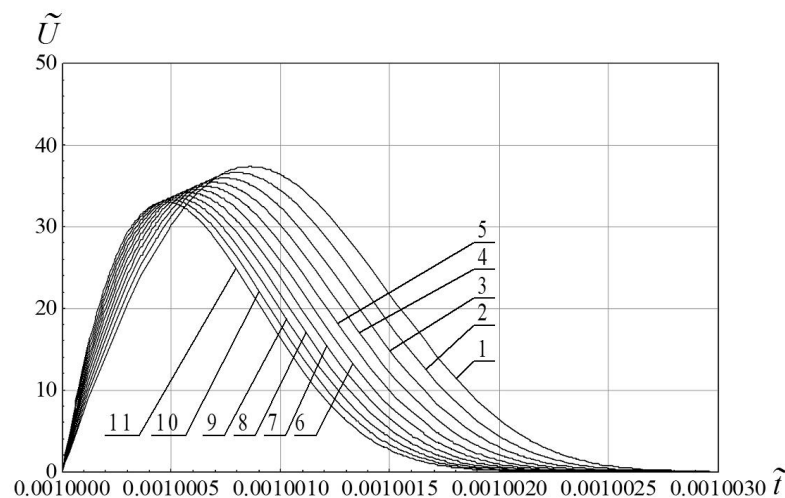


Рис.3. Графіки зміни сигналів акустичної емісії в часі у відносних одиницях, згідно виразу (2), які формуються при руйнуванні елементів композиційного матеріалу. Значення параметра \tilde{v}_0 : 1 - $\tilde{v}_0=1000000$; 2 - $\tilde{v}_0=1100000$; 3 - $\tilde{v}_0=1200000$; 4 - $\tilde{v}_0=1300000$; 5 - $\tilde{v}_0=1400000$; 6 - $\tilde{v}_0=1500000$; 7 - $\tilde{v}_0=1600000$; 8 - $\tilde{v}_0=1700000$; 9 - $\tilde{v}_0=1800000$; 10 - $\tilde{v}_0=1900000$; 11 - $\tilde{v}_0=2000000$. $\tilde{\alpha}=100$, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$, $\tilde{g}=0,1$, $\tilde{t}_0=0,001$, $\tilde{r}=10000$

Згідно отриманих результатів моделювання, проведемо розрахунки параметрів формованих сигналів АЕ з визначенням та описом закономірностей їх зміни при зміні параметру \tilde{v}_0 в умовах їх руйнування поперечною силою. До таких параметрів будемо відносити максимальну амплітуду \tilde{U}_{mc} формованого сигналу АЕ, його потужність \tilde{W}_c , енергію \tilde{E}_c і площу під

обвідною \tilde{S}_C . Теоретичні розрахунки даних параметрів з визначенням їх аналітичних виразів, з урахуванням виразу (2), як показали дослідження, не представляється за можливе. Тому їх значення, у відповідності до прийнятих визначень даних параметрів [12], будемо розраховувати чисельними методами.

Максимальна амплітуда формованих сигналів АЕ безпосередньо визначається за результатами розрахунків зміни амплітуд сигналів АЕ у часі, згідно виразу (2). Розрахунки потужності \tilde{W}_C , енергії \tilde{E}_C і площі під обвідною \tilde{S}_C сигналів АЕ за результатами проведеного моделювання будемо проводити з урахуванням тривалості формованих сигналів. Оскільки задній фронт сигналу має релаксацийний характер падіння з поступовим асимптотичним наближенням до нуля, то для визначення тривалості формованих сигналів АЕ введемо деякі обмеження. Тривалість сигналів АЕ будемо визначати, згідно виразу

$$\tilde{\tau}_m = m\tilde{\tau}_{m0}, \quad (3)$$

де m – деяке ціле число; $\tilde{\tau}_{m0}$ - тривалість переднього фронту формованого сигналу.

Тривалість $\tilde{\tau}_{m0}$ переднього фронту сигналів АЕ визначається за табличними даними, згідно результатів моделювання сигналів, а значення m будемо визначати виходячи з умови $\tilde{U}(\tilde{\tau} = \tilde{\tau}_m) \ll \tilde{U}_{\max}(\tilde{\tau} = \tilde{\tau}_{m0})$, де \tilde{U}_{\max} - максимальна амплітуда формованого сигналу АЕ. При проведенні розрахунків для визначення тривалості сигналів АЕ співвідношення амплітуд приймемо рівним $\frac{\tilde{U}(\tilde{\tau} = \tilde{\tau}_m)}{\tilde{U}_{\max}(\tilde{\tau} = \tilde{\tau}_{m0})} = 0,001$.

Результати розрахунків тривалості формованих сигналів АЕ, згідно проведеного моделювання, для різних значень параметру \tilde{v}_0 наведено у табл. 2.

Таблиця 2.

Тривалість сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні композиційного матеріалу поперечною силою, для різних значень параметра \tilde{v}_0

$\tilde{v}_0 \times 10^6$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$\tilde{\tau}_m \times 10^{-6}$	2,93	2,82	2,72	2,63	2,54	2,46	2,39	2,32	2,26	2,2	2,14

Результати проведених розрахунків закономірностей зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні КМ поперечною силою, їх потужності \tilde{W}_C , енергії \tilde{E}_C і площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів в залежності від параметра \tilde{v}_0 показано на рис. 4. При розрахунках максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} , потужності \tilde{W}_C , енергії \tilde{E}_C і площі \tilde{S}_C під обвідною враховано тривалість сигналів АЕ, згідно табл. 2.

З рис. 4 видно, що при зростанні значень параметра \tilde{v}_0 характер закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ відрізняється між собою. При збільшенні \tilde{v}_0 максимальна амплітуда \tilde{U}_{mC} , потужність \tilde{W}_C , енергія \tilde{E}_C , а також площа під обвідною \tilde{S}_C зменшуються. Таке зменшення параметрів формованих сигналів АЕ, згідно отриманих результатів, відбувається не лінійним чином.

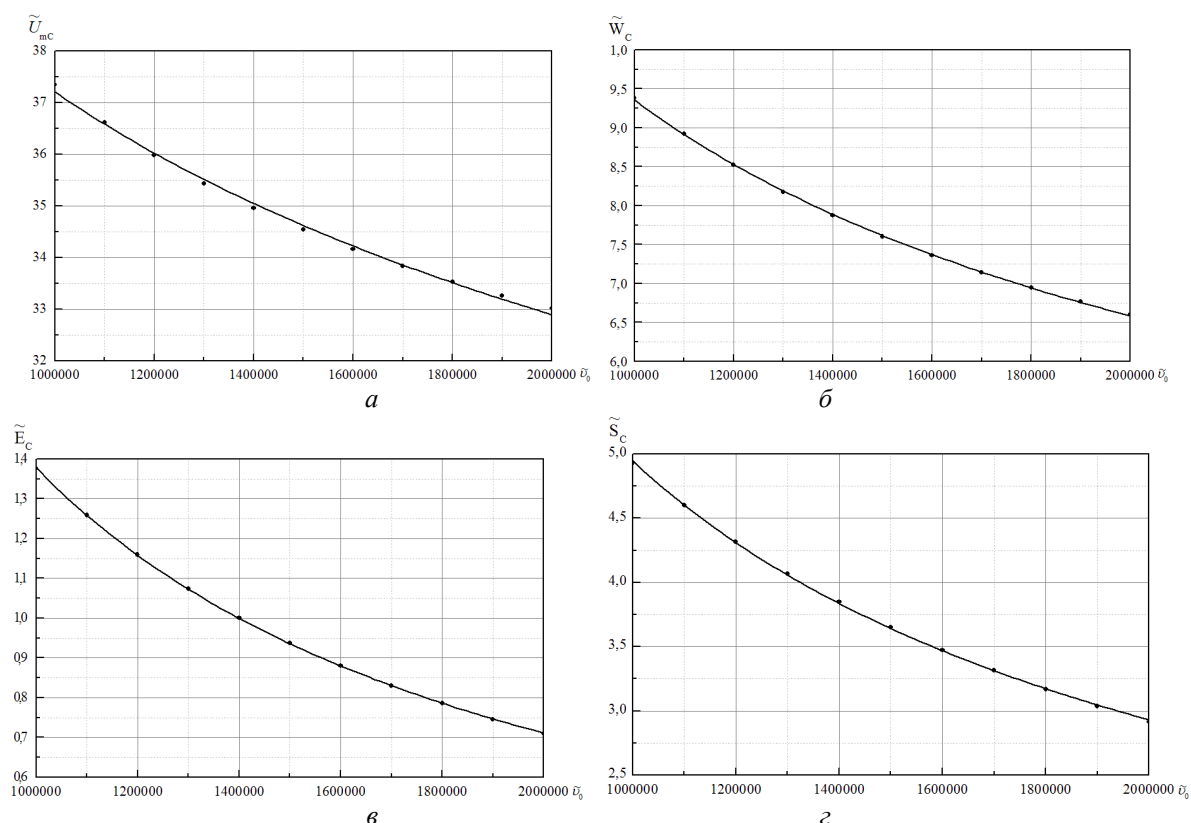


Рис.4. Графіки зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mc} (а), потужності $\tilde{W}_C \times 10^{11}$ (б), енергії $\tilde{E}_C \times 10^{-3}$ (в) та площі $\tilde{S}_C \times 10^{-5}$ під обвідною (г) модельних сигналів акустичної емісії в залежності від параметру \tilde{v}_0

Аналіз графічних даних, які наведено на (рис. 4), показав, що залежності зміни максимальної амплітуди, потужності, енергії та площі під обвідною формованих сигналів АЕ добре описуються степеневою функцією виду

$$P_A = a \tilde{v}_0^b, \quad (4)$$

де P_A - аналізований параметр сигналів АЕ (максимальна амплітуда, потужність, енергія, площа під обвідною формованих сигналів); a, b - коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Коефіцієнти a і b апроксимуючого виразу (4) для залежності зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mc} (рис.4, а) виразу дорівнюють: $a = 434,65$, $b = -0,178$. Для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ (рис. 4, б) значення коефіцієнти апроксимуючого виразу a і b дорівнюють: $a = 1,0347 \times 10^{14}$, $b = -0,50728$. Для енергії \tilde{E}_C сигналів АЕ коефіцієнти a і b мають наступні значення: $a = 738,714$, $b = -0,9548$. Для площі \tilde{S}_C під обвідною (рис.4, г) сигналів АЕ коефіцієнти апроксимуючого виразу дорівнюють: $a = 1,68785$, $b = -0,755$.

При цьому залишкова дисперсія (SD^2) і коефіцієнт детермінації (R^2) при опису отриманих закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ становлять: для максимальної амплітуди \tilde{U}_{mc} - $SD^2 = 0,00735$, $R_U^2 = 0,99673$; для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ - $SD^2 = 2,6999 \cdot 10^{-16}$, $R_U^2 = 0,9997$; для енергії \tilde{E}_C сигналів АЕ - $SD^2 = 1,469 \cdot 10^{-12}$, $R_U^2 = 0,99997$; для площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів АЕ - $SD^2 = 1,2774 \cdot 10^{-14}$, $R_U^2 = 0,9997$.

Розрахунки толерантних і довірчих інтервалів для толерантної і довірчої меж у 98% показали, що отримані дані не виходять за межі толерантних і довірчих інтервалів. При цьому достовірність відновлення залежності (4) за мірою імовірності для досліджуваних параметрів сигналів АЕ становить $p = 0,99$, а похибка відхилення не перевищує: для амплітуди - $\pm 0,008$ %; потужності - $\pm 0,005$ %; для енергії - $\pm 0,0075$ %; для площі під обвідною - $\pm 0,001$ %.

Висновки

Результати проведених досліджень показали, що зміна параметру \tilde{v}_0 , який є чутливим до фізико-хімічної природи і структури КМ, впливає на розвиток процесу його руйнування та формований сигнал АЕ. Встановлено, що збільшення параметру \tilde{v}_0 при постійній швидкості навантаження КМ приводить до зростання крутості падіння кривих елементів, що залишаються. При цьому відбувається і зміна параметрів формованих сигналів АЕ. Спостерігається зменшення їх амплітуди та стиснення сигналів у часі, тобто зменшення їх тривалості. Проведені дослідження показали, що при збільшенні параметру \tilde{v}_0 відбувається нелінійне падіння максимальної амплітуди, потужності, енергії та площі під обвідною формованих сигналів АЕ. Однак, на відміну від впливу швидкості навантаження КМ, коли відбувається зменшення тривалості формованих сигналів АЕ і збільшення їх амплітуди, при зростанні параметру \tilde{v}_0 спостерігається падіння амплітуди формованих сигналів АЕ. Це обумовлено тим, що, як відмічено вище, параметру \tilde{v}_0 є чутливим до фізико-хімічної природи і структури КМ, а його зміна фактично означає, що ми розглядаємо різні КМ. В той же час, інтерес представляє визначення закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ для різних значень параметру \tilde{v}_0 при зміні інших факторів, що впливають.

Список літературних джерел

1. Hemmer P. C. The Distribution of Simultaneous Fiber Failures in Fiber Bundles/ P. C. Hemmer, A. Hansen // J. Appl. Mech. – 1992. –v.59. –№4. – P.909–914.
2. Moreno Y. Self-organized criticality in a fibre bundle-type model / Y. Moreno, J. B. Gomez, A. F. Pacheco // Physics A.–1999.–vol.274.– P.400–409.
3. Sornette D. Scaling with respect to disorder in time-to-failure/ D. Sornette, J.V. Andersen.//European Physical Journal B.–1998.–vol. 1.–P.353–357.
4. Kun F. Extensions of Fibre Bundle Models/F. Kun, F. Raischel, R.C. Hidalgo, H.J. Herrmann //Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience. Lecture Notes in Physics–2007.–vol.705.–P.57–92.
5. Pradhan S. Energy bursts in fiber bundle models of composite materials / S. Pradhan, C. Hemmer // Phys. Rev. E.–2008.–vol. 77.–No1, 031138. – 4 p.
6. Kovács K. Pagonabarraga Critical ruptures in a bundle of slowly relaxing fibers /K. Kovács, S. Nagy, R. C. Hidalgo, F. Kun, H. J. Herrmann // Phys.Rev.E.–2008.–vol.77.–No.3. –8 p.
7. Shcherbakov R. On modeling of geophysical problems /R. Shcherbakov // A dissertation for degree of doctor of philosophy (Cornell university).–2002.–209 P.
8. Turcotte D.L. Micro and macroscopic models of rock fracture/ D.L. Turcotte, W.I. Newman, R. Shcherbakov//Geophes. J. Intern.–2003.–vol.152.–No3.–P.718–728.
9. Філоненко С.Ф. Акустична емісія при навантаженні композиційних матеріалів/ С.Ф. Філоненко, В.М. Каліта, О.П. Космач // Вісник НАУ. – 2010. – № 1.–С.133–141.
10. Філоненко С.Ф. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы/ С.Ф. Філоненко, В.М.Каліта, А.П. Космач, Т.Н. Косицька // Технологические системы.–2010.–№ 2.–С.23–32.
11. Філоненко С.Ф. Моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційних матеріалів під дією поперечної сили /С.Ф. Філоненко, О.П. Космач, Т.М.Косицька // Вісник НАУ.–2010.–№2.–С.85–93.
12. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И.Баскаков // М:Высшая школа. – 1983.–536 с.
13. Косицька Т.М. Закономірності зміни параметрів сигналів акустичної емісії при механічному руйнуванні композиційних матеріалів/Т.М. Косицька// Вісник інженерної академії України.–2010.–№3–4.–С.184–189.
14. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения материалов.–Ташкент: ФАН.– 1985.–175 с.