

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 НЕОДНОРІДНОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**

Національний авіаційний університет (fils01@mail.ru)

Проведено моделювання сигналів акустичної емісії при зміні неоднорідності фізико-механічних характеристик композиційного матеріалу, який навантажений поперечною силою. Встановлені закономірності зміни амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів акустичної емісії в залежності від неоднорідності фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу. Проведено опис отриманих залежностей з їх статистичними оцінками.

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

Постановка проблеми

Композиційні матеріали (КМ) широко використовуються в різних видах техніки завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям, такими як міцність, жароміцність, зносостійкість, антифрикційність, корозійна стійкість, теплостійкість та ін. Бурний розвиток виробництва КМ вимагає і розвитку методів їх контролю та діагностики, яким приділяється значна увага. Однак особливості структури та процесів руйнування КМ потребують застосування методів, які мають високу чутливість до процесів, що розвиваються у КМ при їх навантаженні. Одним з таких методів досліджень, контролю та діагностики стану КМ є метод акустичної емісії (АЕ). У той же час, дослідження явища акустичного випромінювання при навантаженні КМ з використанням методу АЕ пов'язані із значними складнощами в інтерпретації реєстрованої АЕ інформації. З даної точки зору важливе значення мають теоретичні дослідження процесів акустичного випромінювання, які безпосередньо пов'язані з дослідженнями процесів руйнування КМ. При цьому визначення впливу різних факторів на розвиток процесів руйнування КМ і формовані сигнали АЕ нададуть можливість аналізувати інформативність їх параметрів, визначати закономірності їх зміни, що є основою у розробці методів і критеріїв оцінки стану КМ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В наступний час, найпоширенішою концепцією представлення процесу руйнування КМ є концепція FBM (fibre bundle model), тобто представлення руйнування КМ у вигляді руйнування його елементів або пучка волокон [1-6]. Дана концепція використовується у двох напрямках. Перший напрям пов'язаний із дослідженням пошкоджуваності КМ. Згідно дано напрямку руйнування КМ при його навантаженні розглядається як процес неперервного накопичення пошкоджень. При цьому аналізується параметр пошкоджуваності, який характеризує відхилення характеристик пружності від їх початкових значень, тобто розглядається міра пошкоджуваності матеріалу. Інший напрям пов'язаний з дослідженням закономірностей руйнування елементів КМ при умові безперервності протікання процесу з урахуванням перерозподілу напружень на елементи, що залишаються [1-6]. При цьому вважається, що основне навантаження витримують елементи КМ, а руйнування КМ відбувається за рахунок руйнування його елементів. При проведенні таких досліджень застосовується і метод АЕ. Однак проведені теоретичні дослідження процесів руйнування КМ з використанням методу АЕ не дозволили отримати математичний опис формування сигналу АЕ, що пов'язано з існуванням невизначеності отриманих функцій у момент часу повного руйнування КМ [7, 8].

В роботах [9, 10] було отримано аналітичний опис сигналу АЕ, який формується при руйнуванні КМ. При цьому 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 КМ. Згідно отриманих результатів, математичні вирази, які описують кількість не

зруйнованих елементів КМ $N(t)$ (елементів, що залишаються) у часі, а також формований сигнал АЕ $U(t)$ при руйнуванні КМ поперечною силою, представлено у вигляді

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

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

де N_0 - загальна кількість елементів КМ; ν_0, r - параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик КМ; α - швидкість навантаження 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 виразів (1) та (2), закономірності зміни кількості елементів, що залишаються при руйнуванні КМ, і 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 даних чинників на характер розвитку процесу руйнування елементів КМ, 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 неоднорідності фізико-механічних характеристик КМ. Буде проведено аналіз амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ з визначенням закономірностей їх зміни при зміні неоднорідності КМ. Також буде проведено математичний опис отриманих закономірностей зміни параметрів сигналів АЕ та визначено їх статистичні характеристики.

Результати досліджень

При проведенні досліджень сигналів АЕ в роботах [10, 11], було показано, що при навантаженні КМ поперечною силою неперервності процесу руйнування його елементів відповідає неперервності формованого сигналу АЕ. При цьому сигнал АЕ представляє собою відео імпульс, який характеризується стрімким наростанням переднього фронту та акселераційним падінням амплітуди його заднього фронту. Результати такого моделювання процесу руйнування КМ у вигляді графіків залежностей зміни кількості елементів $\tilde{N}(t) = N(t) / N_0$, що залишаються, та формованого сигналу АЕ $\tilde{U}(t) = U(t) / U_0$ у відносних одиницях показано на рис. 1. При розрахунках всі параметри, які входять у вирази (1) та (2), приведені до безрозмірних величин, а час представлено у нормованих одиницях. Швидкість навантаження $\tilde{\alpha}$ дорівнювала $\tilde{\alpha} = 100$. Час початку руйнування елементів КМ складав $\tilde{t}_0 = 0,001$ у відносних одиницях. 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], 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 граничне напруження руйнування дорівнювало $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$. При моделюванні також було прийнято, що значення параметрів v_0 , r і g у відносних одиницях дорівнюють: $\tilde{v}_0 = 1000000$, $\tilde{r} = 10000$, $\tilde{g} = 0,1$.

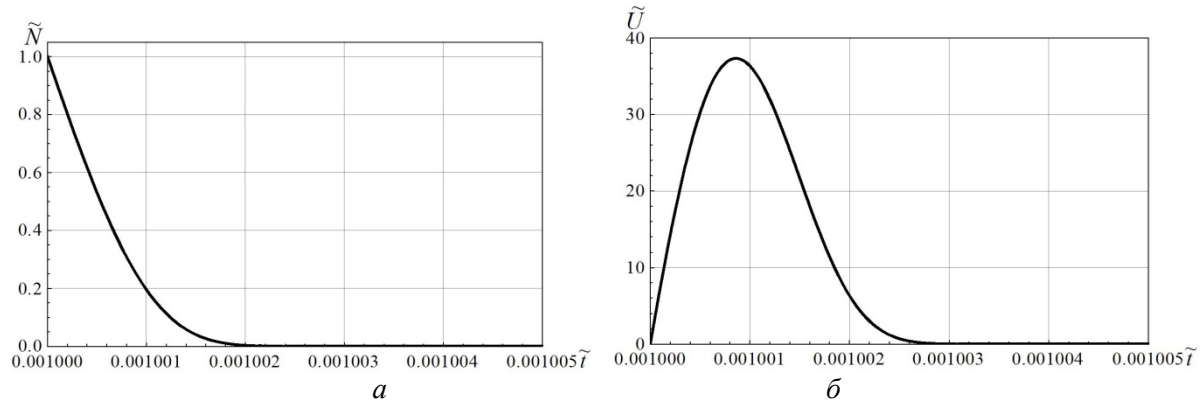


Рис. 1. Залежності зміни кількості елементів, що залишаються, (а), згідно (1), та формованого сигналу акустичної емісії (б), згідно (2), в часі у відносних одиницях при руйнуванні композиційного матеріалу поперечною силою. Значення параметрів моделювання: $\tilde{\alpha} = 100$; $\tilde{\sigma}_0 \approx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

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

З отриманих результатів видно, що формований сигнал АЕ є відео імпульсом (рис. 1, б). Такий відео імпульс можна характеризувати рядом параметрів – максимальною амплітудою, тривалістю, потужністю, енергією, площею під обвідною сигналу тощо [12]. Безумовно, що зміна параметрів, які входять до виразів (1) та (2), буде впливати на характер закономірності зміни процесу руйнування КМ і формованого сигналу АЕ. Згідно виразів (1) і (2), одним з таких параметрів є неоднорідність фізико-механічних характеристик КМ за міцністю, яка характеризується параметром r . Проведемо дослідження впливу параметра r на закономірності зміни кількості елементів, що залишаються при руйнуванні КМ, а також формованого сигналу АЕ.

Методика досліджень буде полягати у наступному. Для початкових прийнятих умов, згідно (1) і (2), будемо, спочатку, проводити розрахунки кількості елементів, що залишаються, та формованого сигналу АЕ. За результатами розрахунків, згідно отриманих табличних даних, будемо проводити визначення параметрів формованого сигналу АЕ для кожного нового значення параметру r . 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 будемо вважати, що розглядається один і той же КМ, який відрізняється лише фізико-механічними характеристиками, тобто дискретністю за своїми властивостями. Це означає, що відбувається зміна параметру r . При цьому збільшення значень параметра r означає зменшення неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями за міцністю. Значення параметру \tilde{r} у відносних одиницях будемо змінювати у діапазоні величин від 10000 до 20000 із кроком прирощування 1000. Також будемо вважати, що навантаження КМ поперечною силою відбувається з постійною швидкістю, тобто $\tilde{\alpha} = \text{const}$. При розрахунках параметри $\tilde{\alpha}$, $\tilde{\sigma}_0$, \tilde{v}_0 , та g прийемо такими ж, як і при побудові графіків рис. 1, тобто:

$\tilde{\alpha} = 100$, $\tilde{\sigma}_0 = 0,08715395010584848$; $\tilde{v}_0 = 1000000$; $\tilde{g} = 0,1$. Результати розрахунків кількості елементів, що залишаються у процесі руйнування КМ, наведено на рис. 2.

З рис. 2 видно, що при навантаженні КМ зменшення його неоднорідності (збільшення значень параметра \tilde{r}) відбувається збільшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються, при розвитку процесу руйнування КМ. Таке збільшення крутості падіння

кривих означає зменшення часу протікання процесу руйнування елементів КМ при заданій швидкості його навантаження. Результати розрахунків тривалості протікання процесу руйнування елементів КМ $\tilde{\tau}$ у відносних одиницях для заданих значень параметра \tilde{r} наведено у табл. 1. В табл. 1 прийняті наступні позначення: $\tilde{\tau}$ - тривалість руйнування всіх елементів КМ; \tilde{r} - параметр, який характеризує неоднорідність КМ.

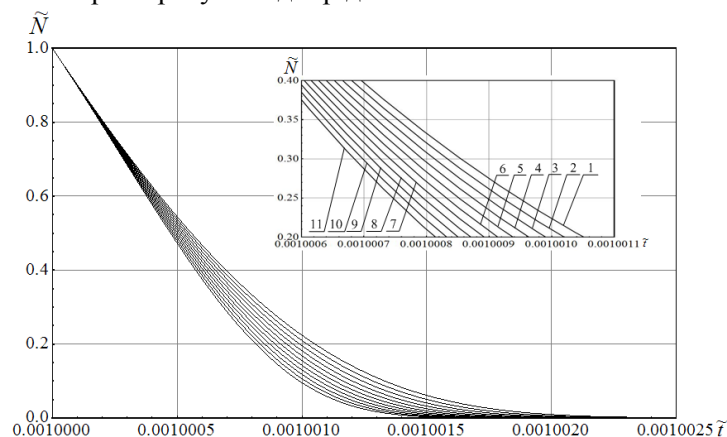


Рис. 2. Графіки зміни кількості залишених елементів композиційного матеріалу при його руйнуванні поперечною силою у часі у відносних одиницях при зміні значень параметра \tilde{r} : 1 - $\tilde{r}=10000$; 2 - $\tilde{r}=11000$; 3 - $\tilde{r}=12000$; 4 - $\tilde{r}=13000$; 5 - $\tilde{r}=14000$; 6 - $\tilde{r}=15000$; 7 - $\tilde{r}=16000$; 8 - $\tilde{r}=17000$; 9 - $\tilde{r}=18000$; 10 - $\tilde{r}=19000$; 11 - $\tilde{r}=20000$. $\tilde{\alpha}=100$, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$, $\tilde{g}=0,1$, $\tilde{t}_0=0,001$, $\tilde{v}_0=1000000$

Таблиця 1

Тривалість процесу повного руйнування елементів КМ в залежності від його неоднорідності

| \tilde{r} | 10000 | 11000 | 12000 | 13000 | 14000 | 15000 | 16000 | 17000 | 18000 | 19000 | 20000 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\tilde{\tau} \times 10^{-6}$ | 2,41 | 2,29 | 2,18 | 2,08 | 1,99 | 1,91 | 1,84 | 1,78 | 1,71 | 1,66 | 1,61 |

Результати проведеного моделювання показують (табл. 1), що при зменшенні неоднорідності КМ (збільшення значень параметра \tilde{r}) спостерігається поступове зменшення тривалості протікання процесу його руйнування. Так, при збільшенні значень параметра \tilde{r} у 1,1 рази, тобто з $\tilde{r}=10000$ до $\tilde{r}=11000$, тривалість $\tilde{\tau}$ процесу руйнування зменшується у 1,052 рази. Зростання \tilde{r} у 1,2 рази приводить до зменшення $\tilde{\tau}$ у 1,105 рази. При подальшому збільшенні значень параметра \tilde{r} 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 1,16, 1,21, 1,26, 1,31, 1,35, 1,41, 1,45 і 1,49 рази.

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

Отримані результати показують (рис. 3), що при зменшенні неоднорідності КМ не спостерігається координальних змін у характері формованих сигналів АЕ. Вони представляють собою відео імпульс із стрибким наростанням переднього фронту і акселераційним падінням амплітуди заднього фронту. В той же час, збільшення значень параметра \tilde{r} приводить до зростання амплітуди формованих сигналів АЕ, а також до зменшення їх тривалості.

Згідно отриманих результатів моделювання, проведемо розрахунки параметрів формованих сигналів АЕ з визначенням та описом закономірностей їх зміни при зміні неоднорідності фізико-механічних характеристик КМ 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 показують дослідження, не представляється за можливе. Тому їх значення, у відповідності до прийнятих визначень даних параметрів [12], будемо розраховувати чисельними методами.

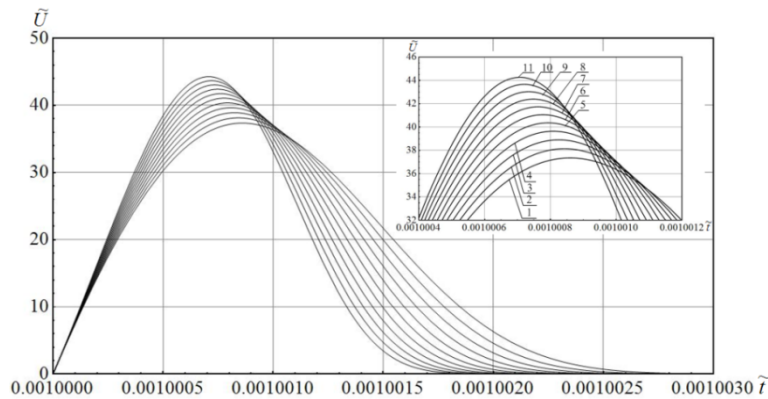


Рис. 3. Графіки зміни сигналів акустичної емісії в часі у відносних одиницях, згідно виразу (2), які формуються при руйнуванні елементів композиційного матеріалу в залежності від неоднорідності його фізико-механічних характеристик. Значення параметра \tilde{r} : 1 - $\tilde{r} = 10000$; 2 - $\tilde{r} = 11000$; 3 - $\tilde{r} = 12000$; 4 - $\tilde{r} = 13000$; 5 - $\tilde{r} = 14000$; 6 - $\tilde{r} = 15000$; 7 - $\tilde{r} = 16000$; 8 - $\tilde{r} = 17000$; 9 - $\tilde{r} = 18000$; 10 - $\tilde{r} = 19000$; 11 - $\tilde{r} = 20000$. $\tilde{\alpha} = 100$, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$, $\tilde{g} = 0,1$, $\tilde{t}_0 = 0,001$, $\tilde{v}_0 = 1000000$

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 проводяться з урахуванням тривалості формованих сигналів. Оскільки задній фронт сигналу має акселераційний характер падіння з поступовим асимптотичним наближенням до нуля, то для визначення тривалості формованих сигналів АЕ введемо деякі

обмеження, згідно виразу
$$\tilde{\tau}_m = m \tilde{\tau}_{m0}, \tag{3}$$

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

Результати розрахунків тривалості $\tilde{\tau}_m$ формованих сигналів АЕ, згідно проведеного моделювання, для різних значень параметру \tilde{r} наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Тривалість сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні композиційного матеріалу поперечною силою, для різних значень параметру \tilde{r}

| \tilde{r} | 10000 | 11000 | 12000 | 13000 | 14000 | 15000 | 16000 | 17000 | 18000 | 19000 | 20000 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\tilde{\tau}_m \times 10^{-6}$ | 2,935 | 2,775 | 2,63 | 2,5 | 2,385 | 2,285 | 2,19 | 2,105 | 2,03 | 1,955 | 1,89 |

Результати проведених розрахунків максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні КМ, їх потужності \tilde{W}_C , енергії, \tilde{E}_C і площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів в залежності від неоднорідності властивостей КМ за міцністю (параметра \tilde{r}) 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{r} характер закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ відрізняється між собою. При зменшенні неоднорідності властивостей КМ за міцністю, тобто зростанні параметра \tilde{r} , максимальна амплітуда \tilde{U}_{mC} формованих сигналів АЕ та їх потужність \tilde{W}_C зростають, а енергія \tilde{E}_C і площа під обвідною \tilde{S}_C падають. Таке зростання максимальної амплітуди і потужності, також падіння енергії і

площі під обвідною формованих сигналів АЕ відбувається за лінійними законами.

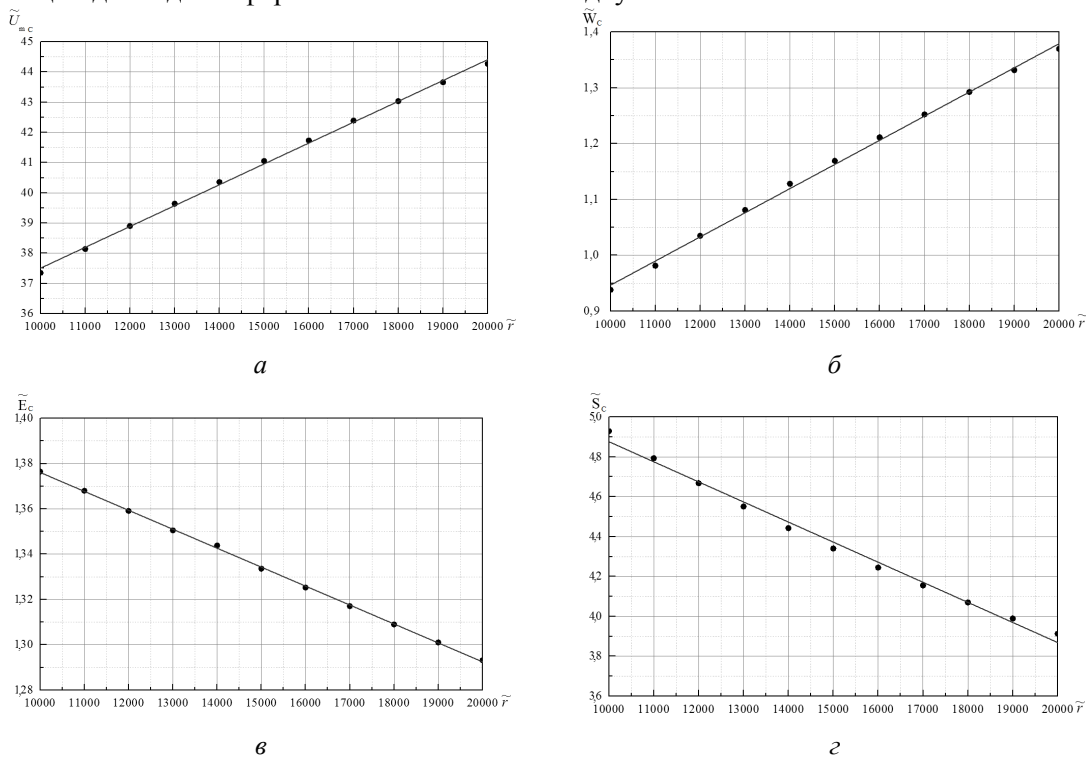


Рис. 4. Графіки залежностей зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} (а), потужності $\tilde{W}_C \times 10^{11}$ (б), енергії $\tilde{E}_C \times 10^{-3}$ (в) та площі $\tilde{S}_C \times 10^{-5}$ під обвідною (г) модельних сигналів акустичної емісії в залежності від неоднорідності властивостей композиційного матеріалу за міцністю (параметру \tilde{r})

Обробка отриманих даних (рис. 4) показала, що залежності зміни максимальної амплітуди, потужності, енергії та площі під обвідною формованих сигналів АЕ добре описуються лінійною функцією виду $P_A = a + b \tilde{r}$, (4)

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

Аналіз залежностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ, що для залежності зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} (рис.4, а) коефіцієнти апроксимуючого виразу дорівнюють: $a = 30,6007$, $b = 6,90437 \times 10^{-4}$. Для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ (рис. 4, б) коефіцієнти апроксимуючого виразу дорівнюють: $a = 5,14094 \times 10^{10}$, $b = 4,32445 \times 10^6$. Для енергії \tilde{E}_C (рис.4, в) сигналів АЕ коефіцієнти a і b мають наступні значення: $a = 0,00146$, $b = -8,36191 \times 10^{-9}$. Для площі \tilde{S}_C під обвідною (рис.4, г) сигналів АЕ коефіцієнти апроксимуючого виразу дорівнюють: $a = 5,88296 \times 10^{-5}$, $b = -1,00713 \times 10^{-9}$. При цьому ймовірність p опису закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ із визначеними дисперсіями $s_{P_A}^2$ складають: для максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} - $p=0,999$, $s_{\tilde{U}_{mC}}^2 = 0,09638$; для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ - $p=0,999$, $s_{\tilde{W}_C}^2 = 6,82651 \cdot 10^8$; для енергії \tilde{E}_C сигналів АЕ - $p=0,999$, $s_{\tilde{E}_C}^2 = 6,32754 \cdot 10^{-7}$, для площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів АЕ - $p=0,996$, $s_{\tilde{S}_C}^2 = 3,15782 \cdot 10^{-7}$.

Лінійне зростання амплітуди і потужності формованих сигналів АЕ, очевидно, обумовлено тим, що зменшення дисперсності властивостей КМ матеріалу за міцністю приводить до зростання швидкості руйнування елементів КМ. Про це свідчить збільшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються при розвитку процесу руйнування КМ. В той же

час, зменшення енергії формованих сигналів АЕ, імовірно, обумовлено тим, що зменшення тривалості формованих сигналів АЕ передуює збільшення їх амплітуди. Дійсно, якщо параметр \tilde{r} зростає від 10000 до 20000, тобто у 2 рази, то максимальна амплітуда формованого сигналу АЕ зростає у 1,18 рази, а стиснення сигналу АЕ, тобто зменшення його тривалості, відбувається у 1,6 рази. Отримані результати також показують, що вплив неоднорідності властивостей КМ за міцністю на амплітудні та енергетичні параметри формованих сигналів АЕ набагато менший, ніж вплив швидкості навантаження КМ.

Висновки. Результати проведених досліджень показали, що зміна неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ за міцністю впливає на розвиток процесу руйнування КМ і формований сигнал АЕ. Визначено, що зменшення неоднорідності КМ при постійній швидкості навантаження приводить до зростання швидкості руйнування елементів КМ. Таке зростання швидкості руйнування елементів КМ обумовлює і зміну параметрів формованих сигналів АЕ. Спостерігається зростання їх амплітуди і стиснення сигналів у часі, тобто зменшення їх тривалості. Визначено, що при зменшенні неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ за міцністю зростання максимальної амплітуди і потужності, а також зменшення енергії і площі під обвідною формованих сигналів АЕ відбувається за лінійними законами. Лінійне зростання амплітуди і потужності формованих сигналів АЕ, очевидно, обумовлено тим, що зменшення дисперсності властивостей КМ матеріалу за міцністю приводить до зростання швидкості руйнування елементів КМ. Про це свідчить збільшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються при розвитку процесу руйнування КМ. В той же час, зменшення енергії формованих сигналів АЕ, імовірно, обумовлено тим, що зменшення тривалості формованих сигналів АЕ передуює збільшення їх амплітуди. У той же час, у вираз, якій описують формований сигнал АЕ, входить параметр, який характеризує геометричні розміри елементів КМ. Безумовно, зміна геометричних розмірів елементів КМ буде впливати на характер протікання процесу руйнування КМ та формований сигнал АЕ, що потребує подальших досліджень.

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, 036102 (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.