

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ АМПЛІТУДНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЗМІНІ РОЗМІРІВ ЕЛЕМЕНТІВ
КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**

Національний авіаційний університет

¹E-mail: fils01@mail.ru

²E-mail: alexkos86@mail.com

Проведено моделювання сигналів акустичної емісії при зміні геометричних розмірів елементів композиційного матеріалу, який руйнується поперечною силою. Визначено закономірності зміни амплітудних і енергетичних параметрів формованих сигналів акустичної емісії залежно від геометричних розмірів елементів композиційного матеріалу. Описано отримані залежності з їх статистичними оцінками.

Ключові слова: акустична емісія, амплітуда, елемент, енергія, залежність, напруження, параметр, поперечна сила.

Постановка проблеми

Поширене використання композиційних матеріалів (КМ) в різних галузях техніки зумовлено широким спектром їх фізико-механічних характеристик. Композиційні матеріали є багатокомпонентними матеріалами, які мають специфіку будови на відміну від традиційних кристалічних матеріалів. Така будова КМ зумовлює й особливості процесів їх руйнування.

Під час дослідження таких процесів застосовуються різноманітні методи, в основу яких покладено певні припущення. Результати експериментальних та теоретичних досліджень, що проводяться, спрямовані не тільки на визначення оптимальних умов експлуатації виробів з КМ, але й на розробку методів контролю, діагностики та моніторингу їх стану.

Одним із високочутливих методів, який використовується під час дослідження процесів руйнування КМ, є метод акустичної емісії (АЕ). Однак його застосування має певні складнощі, які пов'язані з інтерпретацією акустичного випромінювання, що реєструється під час проведення експериментальних досліджень.

Отримані експериментальні закономірності акустичного випромінювання мають частковий характер та не дозволяють однозначно інтерпретувати явище АЕ, яке виникає при руйнуванні КМ. Обґрунтування таких закономірностей потребує розвитку теоретичних досліджень із формуванням уявлень про фізичні аспекти акустичного випромінювання, яке виникає в процесі руйнування КМ.

Визначення теоретичних закономірностей акустичного випромінювання при руйнуванні КМ з урахуванням дії різних чинників та визначення інформативності параметрів формованих сигналів АЕ є основою для розробки методів контролю, діагностики, моніторингу виробів з КМ та оцінки їх стану.

Аналіз досліджень та публікацій

В основі теоретичних досліджень процесів руйнування КМ і формування акустичного випромінювання широке застосування має модель (концепція) КМ у вигляді пучка волокон (FBM – Fiber Bundle Model) [1–6].

Концепція FBM передбачає, що втрата несучої здатності КМ відбувається за рахунок руйнування його елементів або волокон, тобто основне навантаження витримують елементи КМ.

За таких умов вплив матриці та взаємодія матриці–наповнювач (елементи) на характер процесу руйнування КМ не розглядається.

Концепція FBM використовується під час дослідження процесів руйнування КМ в умовах розтягу та дії поперечної сили [1–6].

Згідно з концепцією FBM процес руйнування КМ має вигляд послідовного руйнування його елементів з урахуванням перерозподілу напружень на елементи, що залишаються.

Процеси руйнування КМ досліджують з урахуванням законів розподілу густини ймовірності елементів за міцністю та прийнятих припущень або правил, які стосуються визначення еквівалентних напружень.

При цьому вивчаються закономірності зміни елементів, що залишаються до повної втрати несучої здатності КМ. Уважається, що руйнування кожного елемента КМ являє собою утворення мікротріщини і є джерелом акустичного випромінювання.

Більшість теоретичних і експериментальних досліджень процесів руйнування КМ з використанням методу АЕ пов'язано з навантаженням КМ розтягом [7; 8]. Однак результати досліджень, що проводяться, не дозволили отримати математичний опис сигналу АЕ, який формується при руйнуванні елементів КМ. Це зумовлено, перш за все, відсутністю застосування фізичних уявлень про акустичне випромінювання.

У запропонованій моделі акустичного випромінювання виникає розрив (невизначеність) функції в момент часу повного руйнування КМ, тобто розроблена модель може бути використана лише на початкових стадіях руйнування елементів КМ.

У роботах [9; 10] було отримано аналітичний опис сигналу АЕ, який формується при руйнуванні елементів КМ поперечною силою. При цьому враховані закономірності зміни еквівалентного осьового напруження, яке виникає при руйнуванні КМ, за умови [0, 1] рівномірного розподілу густини ймовірності його елементів за міцністю, а також кінетика розвитку процесу руйнування.

Математичні вирази, які описують кількість елементів $N(t)$, що залишаються, в часі та формований сигнал $U(t)$ АЕ при руйнуванні КМ поперечною силою, мають вигляд

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

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

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 – максимально можливе зміщення при миттєвому руйнуванні зразка КМ:

$$U_0 = N_0 \beta \delta_s;$$

β – коефіцієнт пропорційності між амплітудою одиночного імпульсу збурення, що виникає при руйнуванні одиночного елемента, та напруженням руйнування;

δ_s – параметр, числове значення якого визначається формою одиночного імпульсу збурення.

Згідно з виразами (1), (2) закономірності зміни кількості елементів, що залишаються при руйнуванні КМ, і формованого сигналу АЕ залежать від параметрів, що пов'язані як з умовами його навантаження, так і параметрами, які характеризують геометричні розміри та фізико-механічні властивості.

З погляду методів контролю та діагностики стану виробів з КМ одним із актуальних завдань є визначення впливу даних параметрів на характер розвитку процесу руйнування елементів КМ та на закономірності зміни формованих сигналів АЕ.

Мета роботи – аналіз амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні КМ поперечною силою залежно від геометричних розмірів його елементів, проведення математичного опису закономірностей зміни амплітудних і енергетичних параметрів сигналів АЕ та визначення їх статистичних характеристик.

Результати досліджень

Результати досліджень показали, що неперервності процесу руйнування елементів КМ поперечною силою відповідає неперервність формованого сигналу АЕ [10; 11]. При цьому формований сигнал АЕ являє собою відеоімпульс, який характеризується стрімким наростанням переднього фронту та має релаксаційне падіння амплітуди заднього фронту.

Результати розрахунків згідно з формулами (1), (2) у вигляді графічних залежностей зміни кількості елементів, що залишаються,

$$\tilde{N}(t) = N(t) / N_0$$

та формованого сигналу АЕ

$$\tilde{U}(t) = U(t) / U_0$$

від часу у відносних одиницях при руйнуванні КМ з N_0 елементів поперечною силою показано на рис. 1.

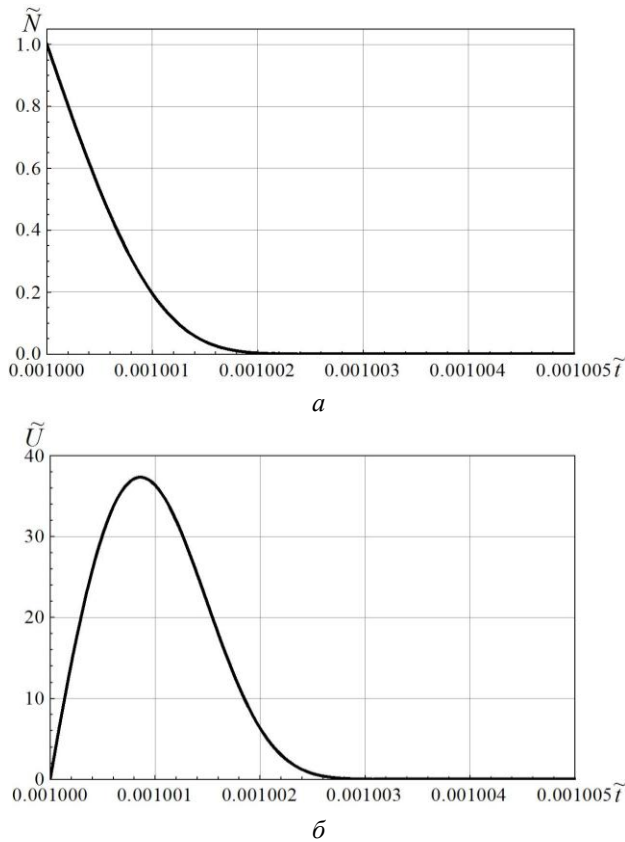


Рис. 1. Залежність зміни кількості елементів, що залишаються, (а), та формованого сигналу АЕ (б) від часу

При розрахунках усі параметри, які входять у вирази (1), (2), зведені до безрозмірних величин, а час нормований на час уведення навантаження.

Під час моделювання було прийнято, що швидкість навантаження $\tilde{\alpha}$ залишалася сталою:

$$\tilde{\alpha} = 100.$$

Час початку руйнування елементів КМ був прийнятий $\tilde{t}_0 = 0,001$ у відносних одиницях.

Граничне напруження руйнування у відносних одиницях, яке відповідає часу \tilde{t}_0 початку руйнування елементів КМ, розраховувалося згідно з виразом, який описує зміну еквівалентних напружень на елементах КМ при його навантаженні поперечною силою зі сталою швидкістю [10; 11]:

$$\sigma(t) = \alpha t (1 - \alpha t) (1 - g \sqrt{\alpha t}). \quad (3)$$

Для прийнятого часу \tilde{t}_0 початку руйнування елементів КМ при $\tilde{g} = 0,1$ граничне напруження руйнування у відносних одиницях згідно з формулою (3) дорівнює $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$.

Під час моделювання було прийнято, що значення параметрів ν_0 , r у відносних одиницях дорівнюють:

$$\tilde{\nu}_0 = 1\,000\,000, \quad \tilde{r} = 10\,000.$$

Обробка залежності зміни кількості елементів, які залишаються (рис. 1, а), показала, що відношення часу перебігу процесу руйнування до часу введення навантаження (часу початку руйнування елементів КМ) становить порядку $\sim 10^{-4}$.

Параметр g , який входить до виразів (1), (2), (3), являє собою відношення площі поперечного перерізу елемента до його довжини.

Збільшення значень параметра g означає зростання площі поперечного перерізу елемента КМ при його постійній довжині або зменшення його довжини при постійній площі поперечного перерізу.

Зміна геометричних розмірів елементів КМ, безумовно, буде впливати на закономірності зміни еквівалентних напружень і, як наслідок, на зміну швидкості розвитку процесу руйнування елементів КМ.

Результати моделювання зміни напружень на елементах КМ у часі згідно з виразом (3) при зміні їх геометричних розмірів показано на рис. 2, а.

При цьому вважалось, що швидкості зовнішнього навантаження $\tilde{\alpha}$ і фізико-механічні характеристики елементів КМ $\tilde{\nu}_0$, \tilde{r} були постійними величинами:

$$\tilde{\alpha} = 100, \quad \tilde{\nu}_0 = 1\,000\,000, \quad \tilde{r} = 10\,000.$$

Значення параметра \tilde{g} змінювалося в діапазоні величин від 0,1 до 0,4 з кроком приросту $\Delta\tilde{g} = 0,05$.

Результати проведеного моделювання показали, що при збільшенні значень параметра \tilde{g} зменшується нахил залежно від зміни еквівалентних напружень у часі (рис. 2, а).

Швидкість зміни еквівалентних напружень у часі на елементах КМ зменшується при розвитку процесу їх руйнування.

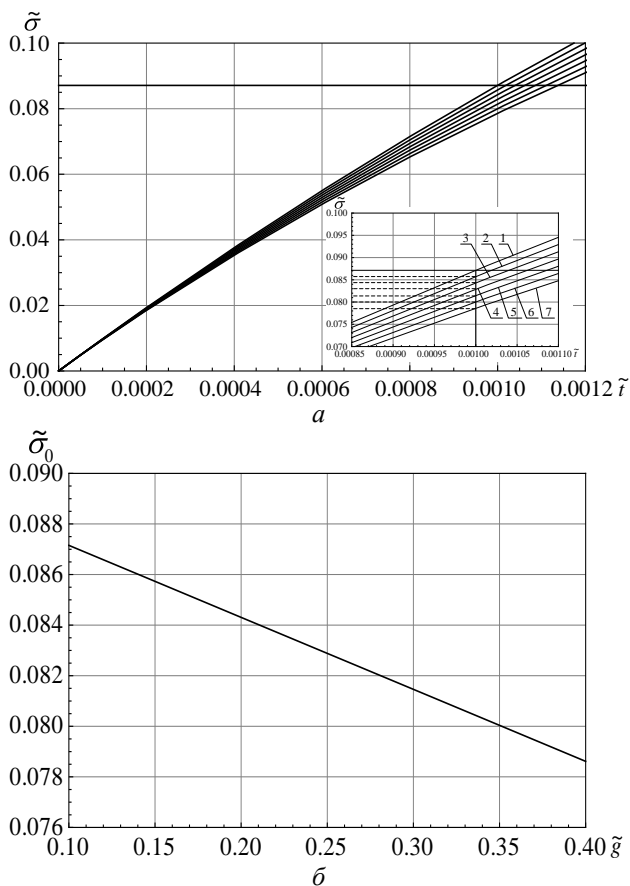


Рис. 2. Зміни напруження в часі (а) та напруження початку руйнування (б) при деформуванні КМ поперечної сили:

- 1 – $\tilde{\gamma} = 0,1$;
- 2 – $\tilde{\gamma} = 0,15$;
- 3 – $\tilde{\gamma} = 0,2$;
- 4 – $\tilde{\gamma} = 0,25$;
- 5 – $\tilde{\gamma} = 0,3$;
- 6 – $\tilde{\gamma} = 0,35$;
- 7 – $\tilde{\gamma} = 0,4$

За таких умов можна розглядати два випадки, за якими може виникати і розвиватися процес руйнування елементів КМ при зміні їх геометричних розмірів.

У першому випадку при сталій швидкості навантаження зміна геометричних розмірів елементів КМ приводить до зміни граничного напруження руйнування або напруження, при якому починається розвиток процесу. Час початку руйнування елементів КМ залишається незмінним.

У другому випадку при сталій швидкості навантаження зміна геометричних розмірів елементів КМ не приводить до зміни граничного напруження руйнування або напруження, при якому починається розвиток процесу.

При цьому відбувається тільки зміна часу початку руйнування елементів КМ.

Розглянемо перший випадок розвитку процесу руйнування.

Аналіз результатів розрахунків зміни еквівалентних напружень показав, що для прийнятих умов моделювання при постійному часі початку руйнування елементів КМ $\tilde{t}_0 = 0,001$ у відносних одиницях відбувається зменшення граничного напруження руйнування (рис. 2, а).

Таке зменшення граничного напруження зумовлено зменшенням швидкості наростання напружень при зростанні геометричних розмірів елементів КМ.

При постійному часі початку руйнування КМ зменшення граничного напруження відбувається за лінійним законом (рис. 2, б).

З урахуванням цього проведемо моделювання закономірностей зміни кількості елементів, що залишаються, згідно з виразом (1) і сигналів АЕ згідно з формулою (2).

Розрахунки будемо проводити при значеннях параметрів, які були прийняті при побудові графіків рис. 2:

$$\tilde{\alpha} = 100, \quad \tilde{\nu}_0 = 1\,000\,000, \quad \tilde{r} = 10\,000.$$

Значення параметра $\tilde{\gamma}$ будемо змінювати в діапазоні величин від 0,1 до 0,4 з кроком приросту $\Delta\tilde{\gamma} = 0,05$.

Час початку руйнування елементів КМ будемо залишати постійним: $\tilde{t}_0 = 0,001$.

Для таких умов граничне напруження руйнування $\tilde{\sigma}_0$ для заданого значення параметра $\tilde{\gamma}$ згідно з отриманими даними (рис. 2, б) буде становити:

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,08715395, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,1;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0857309, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,15;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0843079, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,2;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0828849, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,25;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0814619, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,3;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0800388, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,35;$$

$$\tilde{\sigma}_0 = 0,0786158, \quad \text{якщо } \tilde{\gamma} = 0,4.$$

Результати моделювання кількості елементів КМ, що залишаються при руйнуванні КМ згідно з виразом (1) у вигляді графіків $\tilde{N}(t) = N(t)/N_0$ у відносних одиницях показано на рис. 3. При розрахунках усі параметри, що входять у вираз (1), зведені до безрозмірних величин, а час нормований на час уведення навантаження.

При зростанні параметру g , тобто при зростанні геометричних розмірів елементів КМ, спостерігається зменшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються, при розвитку процесу їх руйнування поперечною силою (рис. 3). Це свідчить про зменшення швидкості руйнування і збільшення часу перебігу процесу руйнування.

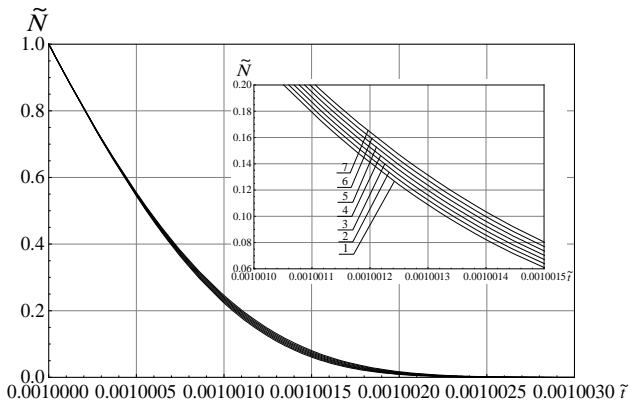


Рис. 3. Закономірності зміни кількості елементів КМ:

1 – $\tilde{g}=0,1$, $\tilde{\sigma}_0=0,087154$;

2 – $\tilde{g}=0,15$, $\tilde{\sigma}_0=0,0857309$;

3 – $\tilde{g}=0,2$, $\tilde{\sigma}_0=0,0843079$;

4 – $\tilde{g}=0,25$, $\tilde{\sigma}_0=0,0828849$;

5 – $\tilde{g}=0,3$, $\tilde{\sigma}_0=0,0814619$;

6 – $\tilde{g}=0,35$, $\tilde{\sigma}_0=0,080038$;

7 – $\tilde{g}=0,4$, $\tilde{\sigma}_0=0,0786158$;

$\tilde{\alpha}=100$; $\tilde{\nu}_0=1\ 000\ 000$; $\tilde{r}=10\ 000$; $\tilde{t}_0=0,001$

Результати розрахунків тривалості перебігу процесу руйнування елементів КМ $\tilde{\tau}$ при збільшенні їх геометричних розмірів \tilde{g} наведено в табл. 1 у відносних одиницях.

Таблиця 1

Тривалість процесу повного руйнування елементів КМ

\tilde{g}	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$\tilde{\tau} \times 10^{-6}$	2,41	2,45	2,48	2,52	2,56	2,6	2,64

Обробка отриманих даних показує, що при збільшенні значення параметра \tilde{g} у 1,5 рази щодо її початкової величини, тобто з $\tilde{g}=0,1$ до $\tilde{g}=0,15$, тривалість процесу руйнування елементів КМ $\tilde{\tau}$ збільшується в 1,016 рази.

Зростання \tilde{g} у 2 рази приводить до зростання $\tilde{\tau}$ у 1,029 рази. При подальшому збільшенні значень параметра \tilde{g} у 2,5; 3; 3,5; 4 рази тривалість процесу руйнування елементів КМ $\tilde{\tau}$ збільшується відповідно в 1,045; 1,062; 1,078; 1,095 рази.

Таке збільшення тривалості перебігу процесу руйнування елементів КМ буде впливати і на формовані сигнали АЕ. Результати розрахунків сигналів АЕ в часі згідно з виразом (2) для прийнятих значень параметрів моделювання при зростанні \tilde{g} показано на рис. 4 у відносних одиницях.

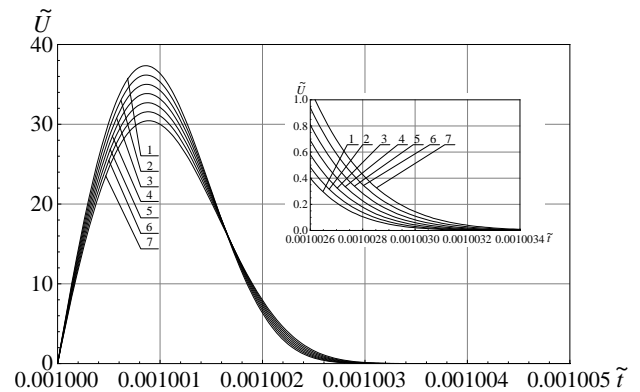


Рис. 4. Зміни сигналів акустичної емісії в часі, які формуються при руйнуванні елементів КМ:

1 – $\tilde{g}=0,1$, $\tilde{\sigma}_0=0,087154$;

2 – $\tilde{g}=0,15$, $\tilde{\sigma}_0=0,0857309$;

3 – $\tilde{g}=0,2$, $\tilde{\sigma}_0=0,0843079$;

4 – $\tilde{g}=0,25$, $\tilde{\sigma}_0=0,0828849$;

5 – $\tilde{g}=0,3$, $\tilde{\sigma}_0=0,0814619$;

6 – $\tilde{g}=0,35$, $\tilde{\sigma}_0=0,0800388$;

7 – $\tilde{g}=0,4$, $\tilde{\sigma}_0=0,0786158$;

$\tilde{\alpha}=100$; $\tilde{\nu}_0=1\ 000\ 000$; $\tilde{r}=10\ 000$; $\tilde{t}_0=0,001$

Під час проведення розрахунків всі параметри, що входять у вираз (2), зведені до безрозмірних величин, а час нормований на час уведення навантаження.

Із рис. 4 видно, що при збільшенні геометричних розмірів елементів КМ не спостерігається відхилень у характері зміни формованих сигналів АЕ.

Зростання величини параметра \tilde{g} приводить до зменшення амплітуди формованих сигналів АЕ та збільшення їх тривалості.

Проведемо розрахунки параметрів формованих сигналів АЕ з визначенням та описом закономірностей їх зміни при зміні геометричних розмірів елементів КМ в умовах їх руйнування поперечною силою.

До таких параметрів відносяться [12]:

- максимальна амплітуда \tilde{U}_{mC} формованого сигналу АЕ;
- потужність \tilde{W}_C ;
- енергія \tilde{E}_C ;
- площа під обвідною \tilde{S}_C .

Теоретичні розрахунки даних параметрів з отриманням їх аналітичних виразів, з урахуванням виразу (2), як показують дослідження, неможливі. Тому їх величини відповідно до прийнятих визначень даних параметрів будемо розраховувати числовими методами [12].

Максимальна амплітуда формованих сигналів АЕ визначається безпосередньо за результатами розрахунків амплітуд сигналів АЕ у часі згідно з виразом (2) при заданій кількості відліків часу.

Значення інтервалу часу $\Delta\tilde{t}$ для розрахунку поточних амплітуд сигналів АЕ у відносних одиницях було постійним:

$$\Delta\tilde{t} = 5 \cdot 10^{-9}.$$

Розрахунки потужності \tilde{W}_C , енергії \tilde{E}_C і площі під обвідною \tilde{S}_C сигналів АЕ за результатами моделювання проводяться з урахуванням тривалості формованих сигналів. Оскільки амплітуда заднього фронту сигналу АЕ має релаксаційний характер падіння з поступовим асимптотичним наближенням до нуля, то тривалість формованих сигналів будемо визначати згідно з виразом

$$\tilde{\tau}_m = m \tilde{\tau}_{m0},$$

де m – ціле число;

$\tilde{\tau}_{m0}$ – тривалість переднього фронту формованого сигналу.

Тривалість переднього фронту $\tilde{\tau}_{m0}$ збігається з моментом часу, якому відповідає максимальна амплітуда формованого сигналу АЕ (рис. 1, б), і визначається за табличними даними розрахунків амплітуд.

Значення коефіцієнта m будемо визначати 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 приймемо

$$\frac{\tilde{U}(\tilde{t} = \tilde{\tau}_m)}{\tilde{U}_{\max}(\tilde{t} = \tilde{\tau}_{m0})} = 0,001.$$

Результати розрахунків тривалості сигналів АЕ $\tilde{\tau}_m$, які формуються при руйнуванні елементів КМ поперечною силою, при зміні значень параметра \tilde{g} наведено у табл. 2 у відносних одиницях.

Таблиця 2

Тривалість формованих сигналів АЕ

\tilde{g}	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$\tilde{\tau}_m \times 10^{-6}$	2,93	2,98	3,03	3,08	3,13	3,18	3,24

При розрахунках потужності \tilde{W}_C , енергії, \tilde{E}_C і площі \tilde{S}_C під обвідною враховано тривалість сигналів АЕ згідно з табл. 2.

При зростанні значень \tilde{g} характер закономірностей зміни параметрів формованих сигналів АЕ не змінюється (рис. 5). При зростанні геометричних розмірів елементів КМ спостерігається падіння максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} , потужності \tilde{W}_C , енергії \tilde{E}_C та площі під обвідною \tilde{S}_C формованих сигналів АЕ. Таке падіння параметрів формованих сигналів АЕ відбувається за лінійним законом.

Обробка отриманих даних моделювання показала, що залежності зміни максимальної амплітуди, потужності, енергії та площі під обвідною формованих сигналів АЕ описуються лінійною функцією

$$P_A = a + b \tilde{g}, \quad (4)$$

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 показав, що коефіцієнти a і b апроксимуючого виразу (4) дорівнюють:

– для максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} сигналів АЕ (рис. 5, а):

$$a = 39,62926, \quad b = -23,01921;$$

- для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ (рис. 5, б):
 $a = 1,04301 \times 10^{11}$, $b = -1,09326 \times 10^{11}$;
- для енергії \tilde{E}_C сигналів АЕ (рис. 5, в):
 $a = 0,0015$, $b = -0,00129$;
- для площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів АЕ (рис. 5, з):
 $a = 5,12179 \times 10^{-5}$, $b = -1,90002 \times 10^{-5}$.

При цьому ймовірність p опису закономірностей зміни параметрів формованих сигналів із визначеними дисперсіями $s_{p_A}^2$ становлять:

- для максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} сигналів АЕ:
 $p = 0,9992$, $s_{\tilde{U}_{mC}}^2 = 0,01934$;
- для потужності \tilde{W}_C сигналів АЕ:

$$p = 0,9994, s_{\tilde{W}_C}^2 = 4,56117 \times 10^{-8};$$

- для енергії \tilde{E}_C сигналів АЕ:

$$p = 0,9991, s_{\tilde{E}_C}^2 = 3,3839 \times 10^{-6};$$

- для площі \tilde{S}_C під обвідною сигналів АЕ:

$$p = 0,9993, s_{\tilde{S}_C}^2 = 2,5118 \times 10^{-8}.$$

Зменшення максимальної амплітуди і тривалості формованих сигналів АЕ, очевидно, зумовлено тим, що при зростанні геометричних розмірів елементів КМ відбувається зменшення швидкості їх руйнування. Про це свідчить зменшення крутості падіння кривих кількості елементів, що залишаються, при розвитку процесу руйнування КМ (рис. 3) і збільшення часу його перебігу (табл. 1).

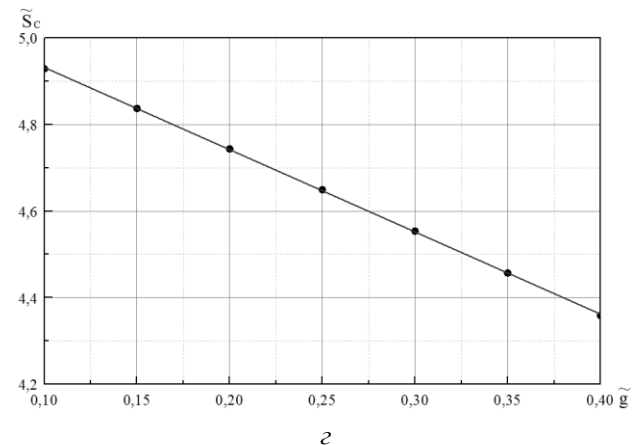
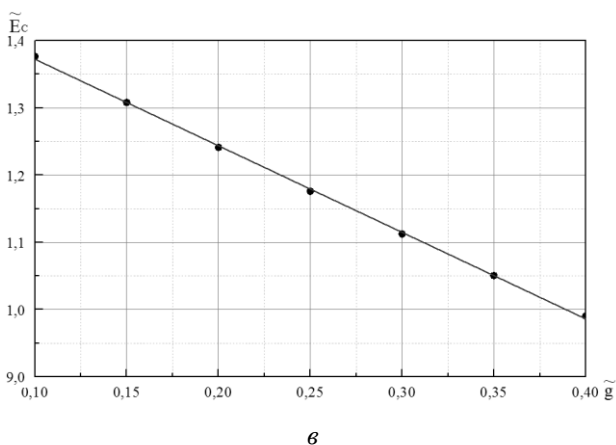
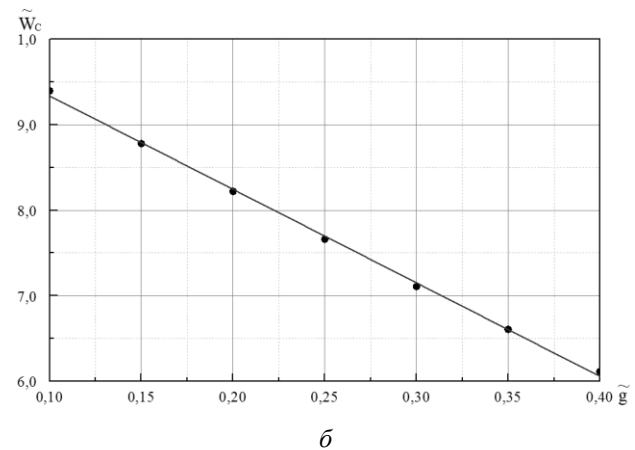
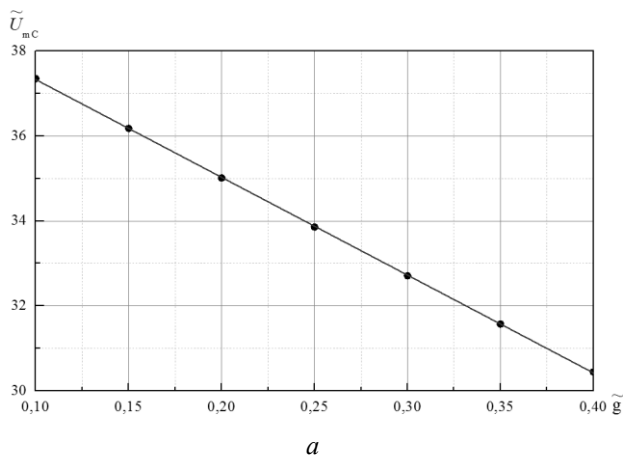


Рис. 5. Залежності зміни максимальної амплітуди \tilde{U}_{mC} (а), потужності $\tilde{W}_C \times 10^{11}$ (б), енергії $\tilde{E}_C \times 10^{-3}$ (в) та площі $\tilde{S}_C \times 10^{-5}$ під обвідною (з) модельних сигналів акустичної емісії від геометричних розмірів \tilde{g} елементів КМ

У той же час зменшення енергії і потужності формованих сигналів АЕ ймовірно зумовлено тим, що зменшення амплітуди формованих сигналів АЕ при зростанні геометричних розмірів елементів КМ передусе збільшенню їх тривалості. Дійсно, якщо параметр \tilde{g} зростає від 0,1 до 0,4, тобто в 4 рази, то максимальна амплітуда формованого сигналу АЕ зменшується в 1,226 рази, а збільшення його тривалості відбувається в 1,105 рази.

Згідно з отриманими результатами вплив зростання геометричних розмірів елементів КМ на амплітудні та енергетичні параметри формованих сигналів АЕ подібний впливу зменшення швидкості навантаження КМ. Згідно з виразом (3) при постійності параметра \tilde{g} зменшення швидкості навантаження КМ повинно приводити до зменшення швидкості наростання еквівалентних напружень.

Висновки

Результати проведених досліджень показали, що зміна геометричних розмірів елементів КМ впливає на розвиток процесу його руйнування і формований сигнал АЕ.

Збільшення геометричних розмірів елементів КМ за постійних умов навантаження приводить до зменшення швидкості його руйнування. Таке зменшення швидкості руйнування елементів КМ зумовлює і зміну параметрів формованих сигналів АЕ. Спостерігається зменшення їх амплітуди та збільшення їх тривалості.

У разі збільшення геометричних розмірів елементів КМ зменшення максимальної амплітуди, потужності, енергії та площі під обвідною формованих сигналів АЕ відбувається за лінійними законами. Визначено закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ при зміні параметрів, що впливають на розвиток процесу руйнування елементів КМ.

Література

1. Hemmer P.C. The Distribution of Simultaneous Fiber Failures in Fiber Bundles/ P.C. Hemmer, A. Hansen // J. Appl. Mech. – 1992. – Vol. 59. N 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. 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. N 1. – 4 p.

6. Critical ruptures in a bundle of slowly relaxing fibers / I. Pagonabarraga, K. Kovács, S. Nagy et al. // Phys. Rev. E. – 2008. – Vol. 77. N 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. N 3. – 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. 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. Моделирование сигналов акустической эмиссии 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. – М.: Высш. шк, 1983. – 536 с.