

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що використання низькочастотного фільтра на початковому та контрастного фільтра на кінцевому етапі системи стиснення підвищує відсоток компресії фотореалістичних цифрових зображень і при цьому відбуваються втрати, які могли б бути помітні для людського ока.

Перспективним є зосередити подальші дослідження в напрямку уточнення контрастних фільтрів, що під час використання разом з розглянутими методами стиснення дозволить покращити показник PSNR та зменшити відносну похибку під час використання низькочастотних фільтрів, що мають більш високий ступінь згладжування, ніж наведені в роботі.

Список використаних джерел

1. Мюррей Д. Д. Энциклопедия форматов графических файлов / Д. Д. Мюррей, У. Ван Райнер. – К., 1997. – 159 с.
2. Ватолин Д. С. Алгоритмы сжатия изображений / Д. С. Ватолин. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, 1999. – 59 с.
3. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 259 с.
5. Приставка П. О. Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – С. 3-14.
6. Приставка П. О. Експериментальний аналіз методів стиснення цифрових зображень / П. О. Приставка, М. О. Рябий // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2010. – С. 78-84.
7. Приставка П. О. Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2007. – С. 15-22.

УДК 621.891:621.316

С.Ф. Філоненко, д-р техн. наук, професор

О.П. Космач, мол. наук. співроб.

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Встановлено закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів акустичної емісії залежно від швидкості навантаження, неоднорідності фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу, а також геометричних розмірів його елементів. Проведено опис отриманих залежностей з їх статистичними оцінками.

Ключові слова: акустична емісія, композиційний матеріал, поперечна сила, тривалість, закономірність, залежність, руйнування, елемент.

Установлено закономерности изменения временных параметров формируемых сигналов акустической эмиссии в зависимости от скорости нагружения, неоднородности физико-механических свойств композиционного материала, а также геометрических размеров его элементов. Проведено описание полученных закономерностей с их статистическими оценками.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, композиционный материал, поперечная сила, длительность, закономерность, зависимость, разрушение, элемент.

The regularities of changes in time parameters of acoustic emission signals which depend from the speed of loading, variations in the physical and mechanical properties of composite materials, as well as the geometric sizes of its elements were determined. A description of the obtained regularities with their statistical estimates was conducted.

Keywords: acoustic emission, composite material, shear load, dependence, law of change, destruction, element.

Постановка проблеми. Композиційні матеріали (КМ) мають широке використання в різних видах техніки завдяки своїм високим фізико-механічним властивостям – зносостійкість, жароміцність, теплостійкість тощо. Одним з напрямів забезпечення надійності виробів

з КМ, якому приділяється значна увага, є застосування та розробка методів контролю та діагностики їх стану. Це обумовлено специфікою будови км і специфікою їх руйнування.

Під час дослідження руйнування КМ використовують традиційні методи, а також методи, які мають високу чутливість до процесів, що розвиваються у структурі матеріалів при їх навантаженні. Одним з таких методів дослідження, контролю та діагностики стану виробів з КМ, який набуває все більшого застосування, є метод акустичної емісії (АЕ). У той же час, значні складнощі в інтерпретації АЕ інформації, що реєструється, приводять до складнощів практичного застосування методів АЕ контролю та діагностики. У цьому аспекті, важливе значення набувають теоретичні дослідження процесів акустичного випромінювання, які безпосередньо пов'язані з дослідженнями процесів руйнування КМ. Такі дослідження повинні бути спрямовані на визначення факторів, що впливають на кінетику процесу руйнування КМ, а також формовані сигнали АЕ. Це, у свою чергу, надасть можливість визначити інформативність параметрів сигналів АЕ, визначити закономірності їх зміни, тобто отримувати інформацію, що є основою у розробці методів та критеріїв оцінки стану виробів із КМ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За останні десятиріччя, однією з найпоширеніших концепцій, що використовується при дослідженнях процесів руйнування КМ є концепція FBM (fibre bundle model). Згідно з цією концепцією руйнування КМ наявне у вигляді руйнування його елементів або пучка волокон [1-4]. При цьому руйнування КМ з використанням концепції FBM досліджується у двох напрямках. Перший напрямок, пов'язаний з дослідженням пошкоджуваності КМ. Відповідно до цього 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 в цілому. Другий напрямок, пов'язаний з дослідженням закономірностей руйнування елементів КМ, при умові безперервності його протікання, з урахуванням перерозподілу напружень на елементи, що залишаються [1-4]. При цьому вважається, що основне навантаження витримують елементи КМ, а руйнування КМ відбувається за рахунок руйнування його елементів.

Під час проведення таких досліджень використовують і метод АЕ. Однак теоретичні дослідження процесів руйнування КМ з використанням методу АЕ, які проведені у ряді робіт [5; 6], не дозволили отримати математичний опис сигналу АЕ. Це було пов'язано з існуванням невизначеності отриманих функцій у момент часу повного руйнування КМ.

У роботах [7; 8] отримано аналітичний вираз для сигналу АЕ, який формується під час руйнування елементів КМ поперечною силою. Під час побудови моделі сигналу АЕ враховані закономірності зміни еквівалентного осьового напруження, яке описує макроскопічну поведінку КМ при розвитку процесу руйнування КМ його елементів, за умови [10] рівномірного розподілу щільності ймовірності елементів за міцністю. При цьому враховано і кінетика розвитку процесу руйнування елементів КМ. Згідно з отриманими результатами, математичний вираз, який описує формований сигнал АЕ $U(t)$ у часі під час руйнування елементів КМ поперечною силою, представлено у вигляді

$$\begin{aligned}
 U(t) = & U_0 v_0 [\alpha t(1 - \alpha t)(1 - g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1 - \alpha t_0)(1 - g\sqrt{\alpha t_0})] \times \\
 & \times e^{r[\alpha t(1 - \alpha t)(1 - g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1 - \alpha t_0)(1 - g\sqrt{\alpha t_0})]} \quad (1) \\
 & - v_0 \int_{t_0}^t e^{r[\alpha t(1 - \alpha t)(1 - g\sqrt{\alpha t}) - \alpha t_0(1 - \alpha t_0)(1 - g\sqrt{\alpha t_0})]} dt, \\
 & \times e^{-rt}
 \end{aligned}$$

де $U_0 = N_0 \beta \delta_s$ – максимально можливе зміщення при миттєвому руйнуванні КМ, який складається з N_0 елементів; v_0, r – параметри, які залежать від фізико-механічних характеристик КМ; α – швидкість навантаження КМ поперечною силою; t, t_0 – відповідно, поточний час та час початку руйнування елементів КМ; g – параметр, який залежить від геометричних розмірів елементів КМ; β – коефіцієнт пропорційності між амплітудою одиночного збурення, яке виникає під час руйнування одиночного елемента, та напруженням руйнування; δ_s – параметр, чисельне значення якого визначається формою одиночного імпульсу збурення.

Згідно з виразом (1), закономірності зміни параметрів формованого сигналу АЕ залежать від чинників, які пов'язані з умовами навантаження КМ, геометричними розмірами його елементів та їх фізико-механічними характеристиками. Безумовно, що визначення впливу цих чинників на формовані сигнали АЕ і закономірності зміни їх параметрів є важливим, з точки зору розробки методів контролю та діагностики стану виробів із КМ.

Мета статті. У роботі проведено моделювання формованих сигналів АЕ з визначенням їх часових параметрів залежно від дії різних чинників, в умовах руйнування КМ поперечною силою. Проаналізовано часові параметри формованих сигналів АЕ з отриманням закономірностей їх зміни під час зміни факторів, що впливають. Також зроблено математичний опис отриманих закономірностей зміни часових параметрів сигналів АЕ та визначено їх статистичні характеристики.

Результати досліджень. Під час проведення досліджень сигналів АЕ в роботах [7; 8; 9] було показано, що під час навантаження КМ поперечною силою неперервності процесу руйнування його елементів відповідає неперервність формованого сигналу АЕ. При цьому сигнал АЕ являє собою відеоімпульс, який характеризується стрімким наростанням переднього фронту та релаксаційним падінням амплітуди його заднього фронту. Результати моделювання такого процесу руйнування КМ у вигляді графіка формованого сигналу АЕ $\tilde{U}(t) = U(t)/U_0$ у відносних одиницях показано на рис. 1. Під час проведення розрахунків усі параметри, що входять до виразу (1), приведені до безрозмірних величин, а час представлено у нормованих одиницях. Під час моделювання швидкість навантаження КМ $\tilde{\alpha}$ у відносних одиницях була прийнята рівною $\tilde{\alpha} = 100$. 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 з методикою, яку розглянуто у роботах [8; 9]. Розрахунки проводилися за виразом, що описує зміну еквівалентних напружень у КМ при його навантаженні поперечною силою з постійною швидкістю. Для прийнятого часу \tilde{t}_0 початку руйнування елементів КМ граничне напруження руйнування становило $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$. Під час моделювання також було прийнято, що значення параметрів v_0, r і g у відносних одиницях мали величини: $\tilde{v}_0 = 1000000, \tilde{r} = 10000, \tilde{g} = 0,1$.

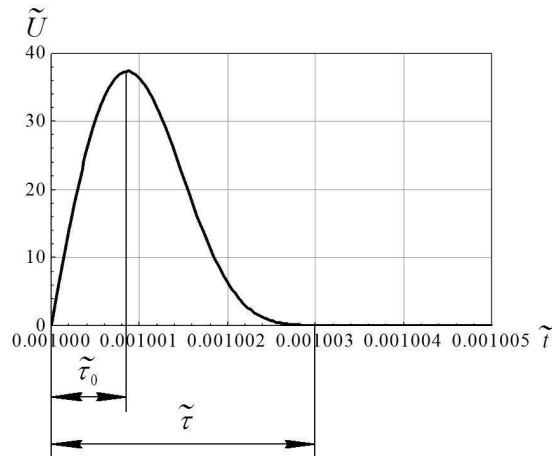


Рис. 1. Часові параметри сигналу акустичної емісії, які формуються під часи руйнування елементів композиційного матеріалу поперечною силою. Значення параметрів моделювання: $\tilde{\alpha} = 100$; $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$; $\tilde{g} = 0,1$; $\tilde{t}_0 = 0,001$; $\tilde{v}_0 = 1000000$; $\tilde{r} = 10000$

З отриманих результатів (рис. 1) видно, що формований сигнал АЕ є відеоімпульсом. Такий відеоімпульс можна характеризувати часовими параметрами (рис. 1), а саме: тривалістю переднього фронту τ_0 , а також тривалістю τ . Безумовно, що зміна параметрів, які входять до виразу (1), буде впливати на закономірності зміни процесу руйнування КМ, а також на часові параметри τ_0 і τ формованих сигналів АЕ.

Згідно з виразом (1), до таких параметрів відносять швидкість прикладення навантаження α , неоднорідність фізико-механічних характеристик КМ за міцністю або дисперсність його властивостей, яка характеризується параметром r , а також геометричні розміри елементів КМ, які характеризуються параметром g . Проведемо дослідження впливу цих характеристик на закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ.

Методика досліджень складалася з двох етапів. На першому етапі, для початкових прийнятих умов моделювання, згідно з виразом (1), проводяться розрахунки формованого сигналу АЕ. За результатами розрахунків, згідно з отриманих табличних даних, проводиться визначення часових параметрів формованого сигналу АЕ залежно від значення параметру, що впливає. Оскільки задній фронт формованих сигналів АЕ має релаксацийний характер падіння з поступовим асимптотичним наближенням до нуля, то визначення тривалості формованих сигналів АЕ будемо проводити, згідно з [10], за виразом $\tilde{\tau}_m = m \tilde{\tau}_{m0}$, 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 з результатами моделювання сигналів АЕ, а значення m визначається, 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. Під час проведення розрахунків для визначення тривалості сигналів АЕ співвідношення амплітуд прийемо рівним $\frac{\tilde{U}(\tilde{t} = \tilde{\tau}_m)}{\tilde{U}_{\max}(\tilde{t} = \tilde{\tau}_{m0})} \leq 0,001$.

На другому етапі, за результатами визначених часових параметрів формованих сигналів АЕ будуються залежності їх зміни при дії різних факторів з відповідним математичним описом і наступним статистичним аналізом.

Під час дослідження впливу швидкості навантаження на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається один і той же КМ, тобто матеріал, у

якому однакові геометричні розміри його елементів, а також однакові фізико-механічні характеристики. Під час дослідження впливу фізико-механічних характеристик КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається КМ, у якому однакові геометричні розміри його елементів і він навантажується з однаковою постійною швидкістю. Під час дослідження впливу геометричних розмірів елементів КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ будемо вважати, що розглядається КМ, у якому однакові фізико-механічні характеристики і він навантажується з однаковою постійною швидкістю.

Швидкість прикладення навантаження впливає на швидкість зміни еквівалентних напружень і обумовлює зміну швидкості розвитку процесу руйнування КМ, що розглянуто у роботах [8; 9]. Це впливає із розрахунків залежностей зміни кількості елементів, що залишаються, при руйнуванні КМ поперечною силою, згідно з моделлю руйнування КМ, яка розглянута у роботі [8]. У [9] представлені результати моделювання сигналів АЕ в часі у відносних величинах для швидкостей навантаження $\tilde{\alpha}$, значення яких змінювалися у діапазоні величини від 100 до 500 із кроком прирощування $\Delta\tilde{\alpha}=50$. При цьому значення параметрів $\tilde{\sigma}_0$, $\tilde{\nu}_0$, \tilde{r} і $\tilde{g}=0,1$ були прийняті рівними: $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$; $\tilde{\nu}_0 = 1000000$; $\tilde{r} = 10000$; $\tilde{g} = 0,1$. За результатами виконаних розрахунків проведено визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного прийнятого значення швидкості навантаження з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від швидкості навантаження у відносних величинах показано на рис. 2.

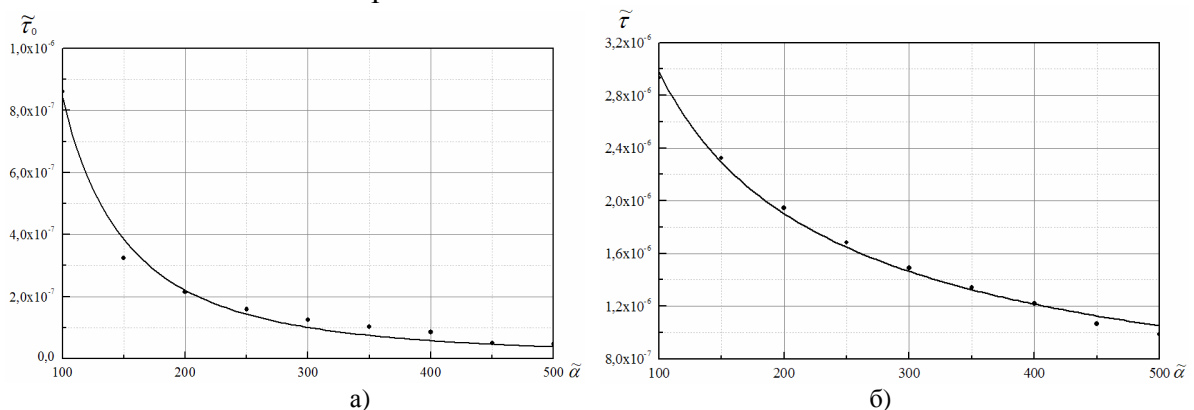


Рис. 2. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) та тривалості $\tilde{\tau}$ (б) сигналів акустичної емісії залежно від швидкості $\tilde{\alpha}$ навантаження композиційного матеріалу поперечною силою. Швидкості навантаження $\tilde{\alpha}$ знаходяться в межах $\tilde{\alpha} = 100 \dots 500$ з прирощенням

$$\Delta\tilde{\alpha} = 50, \tilde{g} = 0,1, \tilde{\sigma}_0 \approx 0,087, \tilde{\nu}_0 = 1000000, \tilde{r} = 10000$$

З рис. 2 видно, що під час зростання швидкості навантаження КМ поперечною силою спостерігається зменшення тривалості переднього та тривалості сигналів АЕ. Таке зменшення тривалості переднього та тривалості сигналів АЕ відбувається за нелінійним законом. Обробка отриманих результатів показала, що під час зростання $\tilde{\alpha}$ у 5 разів, тобто зі 100 до 500, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зменшується у 18,37 рази, а їх тривалість зменшується у 2,97 рази. Зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ свідчить про збільшення швидкості розвитку процесу руйнування елементів КМ.

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання швидкості навантаження (рис. 2) показав, що вони добре описуються степеневою функцією виду

$$P_{\tau} = \vartheta \tilde{\alpha}^{\theta}, \quad (2)$$

де P_{τ} – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); ϑ, θ – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти ϑ, θ апроксимуючого виразу (2) мають такі значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 2, а) – $\vartheta = 0,00617$, $\theta = -1,93251$; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 2, б) – $\vartheta = 5,86919 \cdot 10^{-5}$, $\theta = -0,64714$. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зростання швидкості навантаження апроксимуючим виразом (2) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – $p = 0,993$; для тривалості формованих сигналів АЕ – $p = 0,997$.

Проведемо дослідження впливу неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ на часові параметри формованих сигналів АЕ під час його руйнування поперечною силою. Неоднорідність КМ за своїми фізико-механічними властивостями, як показали результати досліджень [8; 9], впливає на швидкість розвитку процесу його руйнування. Параметром, який пов'язаний з неоднорідністю фізико-механічних властивостей КМ, є параметр r . Збільшення значення параметра r у виразі (1) означає зменшення неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями.

Визначимо закономірності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зміни неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями. У результаті проведення моделювання сигналів АЕ у відносних величинах значення параметра \tilde{r} у відносних одиницях будемо змінювати у діапазоні від 10000 до 20000 із кроком прирощування $\Delta\tilde{r} = 1000$. При цьому будемо вважати, що навантаження КМ поперечною силою відбувається з постійною швидкістю. Її значення буде дорівнювати $\tilde{\alpha} = \text{const} = 100$. При розрахунках параметри $\tilde{\sigma}_0$, $\tilde{\nu}_0$ та \tilde{g} приймемо такими ж, як і раніше, тобто: $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$; $\tilde{\nu}_0 = 1000000$; $\tilde{g} = 0,1$. За результатами проведених розрахунків проведемо визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного значення \tilde{r} з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від неоднорідності КМ за своїми фізико-механічними властивостями у відносних величинах показано на рис. 3.

Отримані результати показують (рис. 3), що під час зменшення неоднорідності КМ (збільшенні значень параметру \tilde{r}) також спостерігається нелінійне зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ. При цьому у результаті зростання $\tilde{\alpha}$ у 5 разів, тобто зі 100 до 500, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зменшується у 1,21 рази, а тривалість формованого сигналу АЕ в 1,55 рази. Таке зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ пов'язане із зменшенням часу протікання процесу руйнування елементів КМ при заданій швидкості його навантаження.

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання параметра \tilde{r} (рис. 3) показав, що вони добре описуються степеневою функцією виду

$$T_{\tau} = \beta \tilde{r}^{\gamma}, \quad (3)$$

де T_{τ} – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); β, γ – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

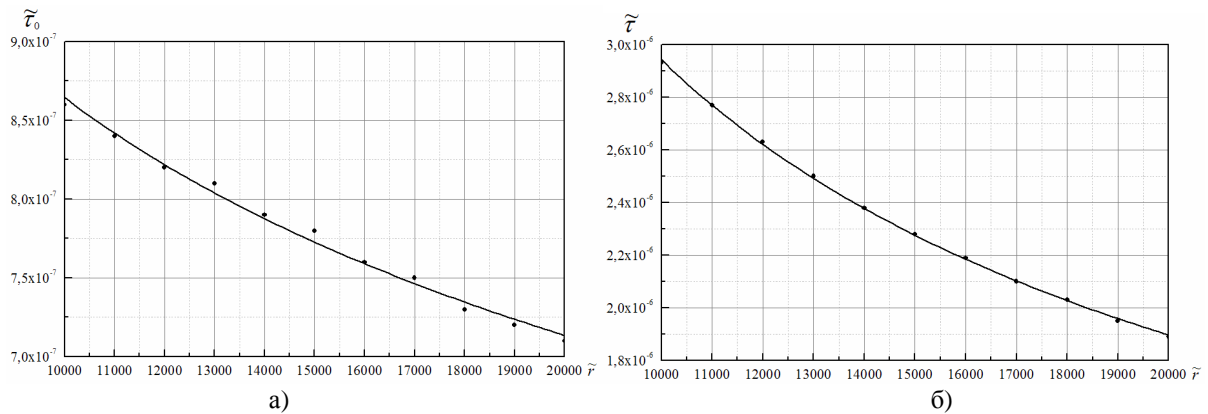


Рис. 3. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) і тривалості $\tilde{\tau}$ (б) формованих сигналів акустичної емісії залежно від неоднорідності властивостей композиційного матеріалу за міцністю (параметру \tilde{r}) $\tilde{\alpha} = 100$, $\tilde{g} = 0,1$, $\tilde{\sigma}_0 \approx 0,087$, $\tilde{\nu}_0 = 1000000$.

Значення параметра \tilde{r} знаходяться в межах $\tilde{r} = 10000 \dots 20000$ з прирощенням $\Delta\tilde{r} = 1000$

Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти β, γ апроксимуючого виразу (3) мають такі значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 3, а) – $\beta = 1,10662 \cdot 10^{-5}$, $\gamma = -0,27681$; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 3, б) – $\beta = 0,00101$, $\gamma = -0,63362$. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ у результаті зменшення неоднорідності фізико-механічних властивостей КМ апроксимуючим виразом (3) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – $p = 0,996$; для тривалості формованих сигналів АЕ – $p = 0,999$.

Збільшення геометричних розмірів елементів КМ також впливають на характер його руйнування. Як відзначено у роботах [8; 9], такий вплив аналогічний впливу зменшення швидкості навантаження КМ. Під час моделювання сигналів АЕ будемо вважати, що час початку руйнування є незмінною величиною. За таких умов, у результаті зміни геометричних розмірів елементів КМ, тобто зростанні параметра \tilde{g} , згідно з розрахунками еквівалентних напружень [8; 9], буде відбуватися зменшення граничного напруження руйнування, тобто напруження початку руйнування елементів КМ. Під час проведення розрахунків приймемо, що швидкість навантаження КМ є постійною величиною і дорівнює $\tilde{\alpha} = \text{const} = 100$. Значення параметрів $\tilde{\nu}_0$ і \tilde{r} приймемо рівними: $\tilde{\nu}_0 = 1000000$; $\tilde{r} = 10000$. Значення параметра \tilde{g} будемо змінювати у діапазоні величини від 0,1 до 0,4 із кроком прирощування $\Delta\tilde{g} = 0,05$. При такому зростанні параметра \tilde{g} , як показали розрахунки еквівалентних напружень, граничне напруження руйнування $\tilde{\sigma}_0$ буде зменшуватися у діапазоні величин від 0,087 до 0,078.

За результатами проведених розрахунків проведемо визначення часових параметрів формованих сигналів АЕ для кожного значення параметра \tilde{g} з побудовою закономірностей їх зміни. Залежності зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ від геометричних розмірів елементів КМ (значень параметра \tilde{g}) у відносних величинах показано на рис. 4.

З рис. 4 видно, що під час збільшення геометричних розмірів елементів КМ (збільшенні значень параметра \tilde{g}) спостерігається лінійне зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. При цьому із зростанням параметра \tilde{g}

у чотири рази, тобто із 0,1 до 0,4, тривалість переднього фронту формованих сигналів АЕ зростає в 1,03 рази, а їх тривалість зростає у 1,105 рази. Зростання тривалості переднього фронту і тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання параметру \tilde{g} свідчить про зменшення швидкості розвитку процесу руйнування елементів КМ.

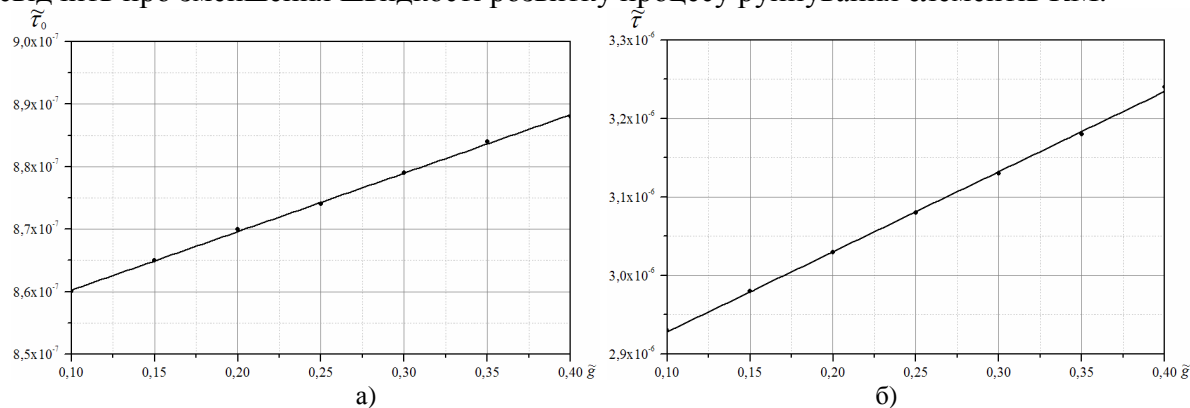


Рис. 4. Графіки зміни тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ (а) і тривалості $\tilde{\tau}$ (б) сигналів акустичної емісії залежно від геометричних розмірів елементів композиційного матеріалу (параметра \tilde{g}) $\tilde{\alpha} = 100$, $\tilde{\nu}_0 = 1000000$, $\tilde{\gamma} = 10000$. Значення параметра \tilde{g} знаходяться в межах $\tilde{g} = 0,1 \dots 0,4$ з припущенням $\Delta\tilde{g} = 0,05$. Значення $\tilde{\sigma}_0$ знаходяться в межах $\Delta\tilde{\sigma}_0 = 0,078 \dots 0,087$.

Час початку руйнування елементів $\tilde{t}_0 = 0,001$

Аналіз закономірностей зміни тривалості переднього та тривалості формованих сигналів АЕ під час зростання геометричних розмірів елементів КМ (рис. 4) показав, що вони добре описуються лінійною функцією виду

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

де D_{τ} – аналізований часовий параметр формованих сигналів АЕ (тривалість переднього фронту або тривалість формованих сигналів АЕ); a, b – коефіцієнти апроксимуючого виразу.

Обробка отриманих результатів показала, що коефіцієнти a, b апроксимуючого виразу (4) мають наступні значення: для тривалості переднього фронту $\tilde{\tau}_0$ формованих сигналів АЕ (рис. 4, а) – $a = 8,50893 \cdot 10^{-7}$, $b = 9,35714 \cdot 10^{-8}$; для тривалості $\tilde{\tau}$ формованих сигналів АЕ (рис. 4, б) – $a = 2,826 \cdot 10^{-6}$, $b = 1,02143 \cdot 10^{-6}$. Статистичний аналіз даних показав, що достовірність опису отриманих залежностей зміни часових параметрів формованих сигналів АЕ під час зростання геометричних розмірів елементів КМ апроксимуючим виразом (4) за мірою ймовірності становить: для тривалості переднього фронту формованих сигналів АЕ – $p = 0,999$; для тривалості формованих сигналів АЕ – $p = 0,999$.

Отримані результати показали, що найбільший вплив на зміну часових параметрів формованих сигналів АЕ (тривалості і тривалості переднього фронту) під час руйнування КМ поперечною силою має швидкість навантаження. При цьому найменший вплив спостерігається від зміни геометричних розмірів елементів КМ.

Висновки і пропозиції. Результати проведених досліджень показали, що зміна швидкості навантаження, неоднорідності за фізико-механічними характеристиками, а також геометричних розмірів елементів впливає на розвиток процесу руйнування КМ та часові параметри формованих сигналів АЕ.

Встановлено, що під час зростання швидкості навантаження на КМ поперечною силою відбувається зменшення тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. Таке зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ відбувається за нелінійним законом. Зменшення неоднорідності КМ також приводить до нелінійного зменшення часових параметрів формованих сигналів АЕ. В обох випадках зменшення тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ добре описуються степеневими функціями. В той же час, збільшення геометричних розмірів елементів КМ приводить до зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ. Таке зростання тривалості переднього фронту та тривалості формованих сигналів АЕ, як показує обробка результатів моделювання, відбувається за лінійним законом. Проведені дослідження також показали, що найбільший вплив на зміну часових параметрів формованих сигналів АЕ (тривалості переднього фронту та тривалості) під час руйнування КМ поперечною силою має швидкість навантаження, а найменший вплив – зміна геометричних розмірів елементів КМ.

У той же час важливим є визначення закономірностей зміни накопичення енергії формованих сигналів АЕ в часі під час зміни факторів, які впливають на розвиток процесу руйнування елементів КМ.

Список використаних джерел

1. Hemmer P. C. The Distribution of Simultaneous Fiber Failures in Fiber Bundles / P. C. Hemmer, A. Hansen // *J. Appl. Mech.* – 1992. – vol. 59. – № 4. – P. 909-914.
2. 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.
3. Pradhan S. Energy bursts in fiber bundle models of composite materials / S. Pradhan, C. Hemmer // *Phys. Rev. E.* – 2008. – vol. 77. – № 1. – 4 p.
4. 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. – № 3. – 8 p.
5. Shcherbakov R. On modeling of geophysical problems /R. Shcherbakov // A dissertation for degree of doctor of philosophy (Cornell university). – 2002. – 209 p.
6. Turcotte D.L. Micro and macroscopic models of rock fracture / D. L. Turcotte, W. I. Newman, R. Shcherbakov // *Geophes. J. Intern.* – 2003. – vol. 152. – № 3. – P. 718-728.
7. 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.
8. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С. Ф. Філоненко, В. М. Каліта, А. П. Космач, Т. Н. Косицкая // *Технологические системы.* – 2010. – № 2. – С. 23-32.
9. Філоненко С. Ф. Моделирование 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.
10. Філоненко С. Ф. Влияние неравномерности процесса разрушения композиционного материала на сигналы акустической эмиссии / С. Ф. Філоненко // *Технологические системы.* – 2011. – № 1 (54). – С. 24-31.