

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНИХ ПРОБЛЕМ МЕХАНІКИ І МАТЕМАТИКИ
ім. Я. С. ПІДСТРИГАЧА

На правах рукопису

УДК 539.3

СТАНКЕВИЧ
Володимир Зенонович

**Взаємодія плоских тріщин з
границею півпростору при
динамічному навантаженні**

Спеціальність 01.02.04 - механіка деформівного
твердого тіла

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

ЛЬВІВ-1995

AB 32804

Робота виконана в інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України.

Науковий керівник - доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ХАЙ Миросла. Васильович

Офіційні опоненти - доктор фізико-математичних наук, ПІДДУБНЯК

Олексій Полікарпович

кандидат фізико-математичних наук, ГАЛАЗИК

Віталій Аполлонович

Провідна установа - Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України

Захист відбудеться "25" вересня 1995 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.04.17.01 в Інституті прикладних проблем механіки і математики ім.Я.С.Підстригача НАН України (м. Львів, вул. Наукова, 3 "б").

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту прикладних проблем механіки і математики ім.Я.С.Підстригача НАН України.

Відгук на автореферат просимо надсилати за адресою: 290601, МСП, м. Львів, вул. Наукова, 3 "б", вченому секретарю спеціалізованої ради.

Автореферат розісланий "14" серпня 1995 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради

ШЕВЧУК
Павло Різнович

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00755694 (-)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Елементи споруд, механізмів, конструкцій в більшості випадків працюють при змінних навантаженнях. Наявність у тілі дефектів типу тріщин, чужорідних включень, тощо, призводить до підвищення ймовірності руйнування тіла в процесі експлуатації, оскільки його конструктивна міцність суттєво залежить від цих дефектів. Для більш точної оцінки граничного стану таких тіл, навантажених змінними в часі зусиллями, потрібно враховувати вплив інерційних ефектів на напружено-деформований стан тіла з такими дефектами. Задачі дослідження загальної картини хвильових процесів у середовищі, яке містить такі недосконалості, привертають особливий інтерес, оскільки вони тісно пов'язані з проблемами сейсмології, механіки гірських порід та неруйнівних методів контролю за наявністю в тілі дефектів.

Вагомий внесок в розвиток динамічної механіки руйнування та близької до неї теорії дифракції хвиль внесли О.Є.Андрейків, В.Г.Борисковський, М.М.Бородачов, Р.В.Гольдштейн, В.Т.Грінченко, А.М.Гузь, О.Ю.Жарій, В.В.Зозуля, В.І.Іванов, А.В.Капцов, Г.С.Кат, Б.В.Костров, В.В.Михаськів, М.Ф.Морозов, В.В.Панасюк, В.З.Партон, О.П.Піддубняк, Я.С.Підстригач, О.В.Побережний, М.П.Саврук, А.Ф.Улітко, Л.Л.Фільштинський, М.В.Хай, Г.П.Черепанов, Ахензх, Будянський, Ітоу, Роу, Шиндо, Сі, В.Сладек, Я.Сладек, Чанг та інші.

Переважаюча більшість відомих у літературі результатів, які враховують динамічний характер навантаження, присвячена побудові розв'язків плоских та осесиметричних задач теорії пружності для тіл з розрізами, причому, як правило, розглядалися модельні задачі при умові, що тіло займає безмежну область. Наявність у тілі вільної поверхні може суттєво впливати на напружено-деформований стан тіла. Модель пружного півпростору, послабленого плоскими тріщинами, дозволяє достатньо ефективно досліджувати складний характер нестационарних хвильових процесів, які відбуваються в обмежених тілах з розглядуваними дефектами. Значний вклад в ці процеси вносить поверхнева хвиля Релея, яка породжується дифрактуванням поздовжніх та поперечних хвиль на поверхні тіла. При цьому тривимірна постановка відповідної задачі теорії пружності дозволяє більш повно дослідити всю багатогранність нестационарних

процесів у тілі, оскільки більш адекватно відображає їх протікання.

Для дослідження поля переміщень і напружень у півпросторі з тріщинами використано метод потенціалів, запропонований Г.С.Кітом стосовно статичних, квазістатичних та поширений його учнями М.В.Хасем, В.В.Михаськівим стосовно динамічних задач теорії тріщин.

Метою роботи є розробка методики розв'язування тривимірних динамічних задач теорії пружності для півпростору з плоскими довільно розташованими стаціонарними тріщинами, поверхні яких перебувають під дією самозрівноважених змінних у часі (усталених, ударних) зовнішніх навантажень; розробка методики визначення нестационарного поля переміщень у безмежному тілі та півпросторі, зумовленого розривами суцільності середовища вздовж плоских довільно розташованих поверхонь.

Наукова новизна роботи полягає:

- у поширенні методу граничних інтегральних рівнянь на тривимірні динамічні задачі теорії пружності для півпростору з плоскими довільно розташованими стаціонарними тріщинами, включаючи задачі про усталені коливання;
- у розвитку методики визначення поля переміщень в безмежному та півбезмежному (півпросторі) тілах, яке зумовлене утворенням плоских довільно розташованих розривів суцільності;
- у виявленні кількісних і якісних закономірностей взаємодії пружних хвиль з тріщинами та границею півпростору в залежності від розташування і конфігурації тріщин та зовнішнього навантаження.

Вірогідність основних положень і отриманих в дисертації результатів забезпечується математичною коректністю постановки задачі, строгості застосованих математичних методів до фізичної інтерпретації динамічних процесів, співпаданням результатів деяких частинних випадків з відомими у літературі, вивчених іншими методами.

Практична значимість. Отримані в дисертаційній роботі результати мають як теоретичне, так і практичне значення при визначенні міцності тіл з тріщинами, які перебувають під дією змінних за часом навантажень; встановлення умов локального руйнування деформованих твердих тіл; визначення траєкторій ймовірного поши-

рення тріщин. Результати проведених досліджень можуть бути взяті за основу при розробці методів управління процесом крихкого руйнування, зокрема - в механіці гірських порід, а отриманий зв'язок між характеристиками дефектів і параметрами поля переміщень - в акустичній дефектоскопії та сейсмології.

Апробація роботи: Основні результати, викладені в дисертації, доповідались на Всеукраїнській конференції "Нові підходи до розв'язання диференціальних рівнянь" (Дрогобич, 1994), на першій науковій школі "Імпульсні процеси в механіці сплошних сред" (Миколаїв, 1994).

Дисертаційна робота в цілому обговорювалась на науковому семінарі відділу математичних методів механіки руйнування Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України (1995), на спеціалізованому семінарі "Механіка деформівного твердого тіла" цього ж інституту (Львів, 1995).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 5 наукових статей.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, підсумків, додатку, списку літератури, що містить 125 найменувань. Загальний об'єм роботи становить 141 сторінку машинописного тексту (основний зміст - 138, додатки - 3) і включає 21 рисунок і 1 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, проведено короткий огляд публікацій з даного наукового напрямку, стисло викладено основні результати проведених досліджень та визначено їх місце серед робіт, присвячених даному науковому напрямку.

У першому розділі наведено основні співвідношення тривимірних динамічних задач теорії пружності для ізотропного тіла, наведена постановка і класифікація динамічних задач для безмежного тіла з плоскими тріщинами, та деякі математичні результати, притаманні динамічним змішаним задачам теорії пружності.

Зокрема, після задоволення природних умов симетрії в площині розташування тріщини, розв'язки задач в зображення Лапласа за часом для випадку довільного в часі навантаження тіла з тріщиною,

можна записати у вигляді інтегральних представлень

$$u_j^* = \frac{\partial F_3}{\partial x_j} + (-1)^j \frac{\partial P_{3-1}}{\partial x_3} - 2 \frac{\partial P_3}{\partial x_j} - \frac{2}{\omega_2^2} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Delta(F_3 - P_3) + \frac{\partial W}{\partial x_3} \right], \quad j=1, 2,$$

$$u_3^* = \frac{\partial F_3}{\partial x_3} + \frac{\partial P_1}{\partial x_2} - \frac{\partial P_2}{\partial x_1} - \frac{2}{\omega_2^2} \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\Delta(F_3 - P_3) + \frac{\partial W}{\partial x_3} \right]. \quad (1)$$

Тут $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}$ - двовимірний оператор Лапласа

$$W = \frac{\partial(F_2 - P_2)}{\partial x_1} - \frac{\partial(F_1 - P_1)}{\partial x_2}, \quad (2)$$

$$F_j = \iint_S \beta_j^*(\xi, \rho) \frac{e^{-\omega_1 |x-\xi|}}{|x-\xi|} d\xi S, \quad P_j = \iint_S \beta_j^*(\xi, \rho) \frac{e^{-\omega_2 |x-\xi|}}{|x-\xi|} d\xi S, \quad j=1, 3.$$

де S - область, яку займає тріщина; $\omega_i = p/c_i$, p - параметр перетворення Лапласа, а c_1 і c_2 - швидкості поширення в тілі поздовжньої і поперечної хвиль; $\beta_j^*(x, \rho)$ - невідомі густини потенціалів, які характеризують стрибок між переміщеннями протилежних поверхонь тріщини в процесі деформації тіла з тріщиною.

Для випадку усталених коливань безмежного тіла з тріщиною розв'язки задачі записані у вигляді інтегральних представлень через потенціали Гельмгольца.

Викладено також методику обчислення деяких кратних двовимірних сингулярних інтегралів з інтегруванням по безмежній границі півпростору

$$I_{jP}^{m\lambda}(x_{0n}, \xi, \rho) = \iint_{-\infty}^{+\infty} \Phi_p(x_{k0}^*(\eta), \xi) d\eta S \iint_{-\infty}^{+\infty} \Phi_j(x_{0n}^*, z) \frac{\partial^2}{\partial \eta_m \partial \eta_\lambda} J_0(\rho |z-\eta|) d_z S, \quad j, p, m, \lambda = 1, 2. \quad (3)$$

Тут прийнято, що довільна точка x_n^* з координатами (x_{1n}, x_{2n}, x_{3n}) в n -ій системі координат має в k -ій системі k ординат координати $(x_{k1n}, x_{k2n}, x_{k3n})$; x_{0n}^* і ξ - точки з координатами $(x_{10n}, x_{20n}, x_{30n})$

$(\xi_1, \xi_2, 0)$; $J_0(z)$ - функція Бесселя дійсного аргумента нульового порядку, а функції $\Phi_m(x_{k0}^*(\eta), \xi)$ визначаються за формулою

$$\Phi_m(x_{k0}^*(\eta), \xi) = \frac{e^{-\omega_m |x_{k0}^*(\eta) - \xi|}}{|x_{k0}^*(\eta) - \xi|}, \quad m=1, 2, \quad (4)$$

Описано чисельно-аналітичний метод розв'язування двовимірних гіперсингулярних інтегральних рівнянь типу ньютонівського потенціалу, який суттєво використовується в роботі при доведенні результатів до числових розрахунків.

У другому розділі розв'язані задачі про усталені коливання півпростору, який містить систему N довільно розташованих плоских тріщин. Границя півпростору S_0 і протилежні поверхні тріщин S_n^\pm , ($n=1, N$) перебувають під дією самозрівноважених зовнішніх зусиль \vec{N}_n^\pm ($\vec{N}_n^+ = -\vec{N}_n^-$), які змінюються в часі t за гармонійним законом з циклічною частотою k

$$N_n(x_n, t) = \vec{N}_n(x_n) e^{-ikt} \quad (5)$$

З використанням принципу суперпозиції напружено-деформованих станів переміщення $u_j(x_n^*)$ ($j=1, 3$) в системі координат $O_n x_{1n} x_{2n} x_{3n}$ зумовлені заданими зовнішніми навантаженнями, записано у вигляді

$$u_j(x_n^*) = \sum_{k=0}^N \left[u_{1k}(x_{kn}^*) l_{jkn} + u_{2k}(x_{kn}^*) m_{jkn} + u_{3k}(x_{kn}^*) n_{jkn} \right], \quad (6)$$

де $u_{jk}(x_{kn}^*)$ - компоненти переміщень, які визначаються через довільні функції $\beta_{sk}(x_{kn}^*)$ ($s=1, 3$) співвідношеннями (1), якщо в них замінити ω_j на $-ik_j$ ($k_j = k/c_j$).

Зусилля N_{jkn} , зумовлені зміщеннями поверхонь k -ї тріщини, на місці розташування n -ї тріщини визначаються за формулами

$$\begin{aligned} \vec{N}_{jkn} = & \tilde{\sigma}_{11k} l_{j3kn} + \tilde{\sigma}_{22k} m_{j3kn} + \tilde{\sigma}_{33k} n_{j3kn} \\ & + \tilde{\sigma}_{12k} l_{j3kn}^* + \tilde{\sigma}_{23k} m_{j3kn}^* + \tilde{\sigma}_{13k} n_{j3kn}^* \end{aligned} \quad (7)$$

де $\tilde{\sigma}_{ijk}$ - амплітудні значення компонент тензора напружень, які відповідають розкриттю лише k -ї тріщини (їх інтегральні представлення наведені в першому розділі); геометричні параметри l_{jzkn} , m_{jzkn} , n_{jzkn} , l_{jzkn}^* , m_{jzkn}^* , n_{jzkn}^* визначають орієнтацію тріщин у півпросторі.

Після сумування зусиль \tilde{N}_{jkn} на місці розташування n -ї тріщини та границі півпростору, і прирівнювання їх до заданих зовнішніх амплітудних значень навантажень $\tilde{N}_{jn}(x_n)$, ($n=\overline{0,N}$) ($\tilde{N}_{3n}(x_n)$ - нормальні, $\tilde{N}_{1n}(x_n)$ та $\tilde{N}_{2n}(x_n)$ - дотичні зусилля) вихідну задачу зведено до системи $3(N+1)$ двовимірних граничних інтегральних рівнянь типу потенціалу Гельмгольца відносно невідомих густин, які характеризують розкриття поверхонь тріщин

$$\sum_{m=0}^N \iint_{S_m} \sum_{s=1}^3 \tilde{\beta}_{sm}(\xi, k) \sum_{l=1}^2 \left[\hat{L}_{jsmr}^{(l)} \frac{e^{ik_l |x_{mr} - \xi|}}{|x_{mr} - \xi|} \right] d\xi S =$$

$$= (-1)^{j+1} \frac{k^2}{4G} \tilde{N}_{jr}(x_r), \quad x_r \in S_r, \quad j=\overline{1,3}, \quad r=\overline{0,N}, \quad (8)$$

де \hat{L} - модуль зсуву. Постійні коефіцієнти диференціальних операторів $\hat{L}_{jsmr}^{(l)}$ залежать від пружних сталей півобмеженого тіла, та параметрів, які характеризують орієнтацію тріщин у півпросторі.

Для пониження розмірності системи інтегральних рівнянь (8) виділено три рівняння типу згортки при $r=0$ з інтегруванням по безмежній області, яка співпадає з границею півпростору. Застосуванням до останніх двовимірного інтегрального перетворення Фур'є, отримано вирази для $\tilde{\beta}_{j0}(x, k)$, які записані через $\tilde{\beta}_{jn}(x, k)$ ($n=\overline{1,N}$). Після підстановки виразів для $\tilde{\beta}_{j0}(x, k)$ в $3N$ рівнянь системи (8), що залишилися, та обчислення інтегралів типу (), отримано систе-

му 3N ГІР (граничних інтегральних рівнянь) відносно невідомих густин $\tilde{\beta}_{jn}(x, k)$ ($n=1, N$)

$$\sum_{n=1}^N \iint_{S_n} \sum_{s=1}^3 \tilde{\beta}_{sn}(\xi, k) \sum_{l=1}^2 \left[\hat{Y}_{jsnr}^{(l)} \frac{e^{ik_l |x_{nr} - \xi|}}{|x_{nr} - \xi|} + \hat{Q}_{jsnr}^{(l)} \times \right. \\ \left. \times \int_0^{\infty} \frac{W_{jsnr}^{(l)}(x_{nr}, \xi, \tau)}{R(\tau)} d\xi \right] d\xi S = (-1)^{j+1} \left[\frac{k_2^2}{4G} \tilde{N}_{jr}(x_r) + \right. \\ \left. + \sum_{q=1}^3 \hat{B}_{jrq} [\tilde{N}_{q0}(x_{0r}) M_{jrq}(x_{0r})] \right], \quad x_r \in S_r, \quad j=1, 3, \quad r=1, N, \quad (9)$$

де $R(\tau) = (\tau^2 - k_2^2/2)^2 - \tau^2 \sqrt{\tau^2 - k_1^2} \sqrt{\tau^2 - k_2^2}$ - функція Релея. Постійні коефіцієнти диференціальних операторів $\hat{Y}_{jsnr}^{(l)}$, $\hat{Q}_{jsnr}^{(l)}$, \hat{B}_{jrq} залежать від пружних характеристик півобмеженого тіла, та параметрів, які характеризують розташування тріщин у півпросторі; $W_{jsnr}^{(l)}$, M_{jrq} - відомі функції.

Характерною особливістю отриманої системи ГІР (9) є те, що в них інтегрування виконується лише по поверхнях, які займають тріщини.

З метою перевірки вірогідності отриманих ГІР розглядався частинний випадок, коли до берегів дископодібної тріщини, перпендикулярної до границі півпростору, прикладені нормальні розтягуючі зусилля. Здійснивши у рівнянні граничний перехід, коли частота коливань прикладених зусиль прямує до нуля, отримано ГІР, яке відповідає статичній задачі і співпадає з відомим у літературі.

Для випадку тріщини, відмінних від кругових, пропонується метод відображень області тріщини на кругову, та показано придатність його використання для розв'язання відповідних ГІР чисельно-аналітичним методом.

Як приклад розглядалися випадки, коли півпростір послаблений дископодібною або еліптичною отвориною, перпендикулярною до його

границі, а поверхні тріщини знаходяться під дією гармонійних за часом нормальних розтягуючих зусиль; дископодібною тріщиною, паралельною до границі півпростору, поверхні якої знаходяться під дією осесиметричного зсуву або нормальних розтягуючих зусиль; дві дископодібні тріщини, які знаходяться одна під одною, і паралельні до поверхні тіла, а до берегів однієї з них прикладені розривні зусилля.

При розв'язуванні відповідних рівнянь використано чисельно-аналітичний метод. При цьому для забезпечення єдиності розв'язку отриманих ГПР $\tilde{\beta}_{jn}$ представлені у вигляді

$$\tilde{\beta}_{jn}(x_n, k) = \sqrt{a_n^2 - x_{1n}^2 - x_{2n}^2} \alpha_{jn}(x_n, k), \quad (10)$$

$$\tilde{\beta}'_{jn}(x_n, k) = \sqrt{1 - x_{1n}^2/a^2 - x_{2n}^2/b^2} \alpha_{jn}(x_n, k)$$

для дископодібною та еліптичною тріщин відповідно, де a_n - радіус n -ї тріщини, a і b - півосі еліпса, $\alpha_{jn}(x_n, k)$ - невідомі функції. Фізично ці співвідношення забезпечують неперервність переміщень в околі контура тріщини.

У цьому ж розділі приведені залежності амплітуд коефіцієнтів інтенсивності напружень від частоти коливань зовнішніх зусиль в широкому діапазоні її зміни.

Досліджено інерційні ефекти, зумовлені взаємодією тріщин з границею півпростору, кривини контура тріщини, зміною частоти коливань динамічних навантажень.

У третьому розділі досліджено напружено-деформований стан півпростору з довільно розташованими плоскими тріщинами під дією довільних в часі зовнішніх навантажень.

Спочатку, з використанням інтегральних представлень розв'язків (1) отримано систему ГПР цієї задачі в зображеннях Лапласа за часом. Далі вказано на аналогію застосування перетворення Фур'є за часом до даного класу задач, вказано також на зв'язок між ГПР вихідної задачі в зображеннях Фур'є за часом та ГПР задані про усталені коливання. Для знаходження розв'язку можливе використання чисельно-аналітичної методики з подальшим числовим відшукуванням оригіналу, тобто відтворенням функції $\beta(x, t)$ через $\beta(x, k)$ залеж-

ністю

$$\beta_j(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{\beta}_j(x, k) e^{-ikt} dk, \quad j=\overline{1,3}, \quad t > 0. \quad (11)$$

В даному підході обчислення проводились для конкретних видів навантажень, які описуються функціями, що допускають розділення за просторовими та часовими координатами.

Визначені залежності коефіцієнтів інтенсивності напружень від часу для певних видів навантажень поверхонь дископодібної тріщини нормального відриву та певної орієнтації тріщини відносно границі півпростору.

У четвертому розділі, з використанням інтегрального представлення розв'язків та принципу суперпозиції напружено-деформованих станів отримано вирази для нестационарного поля переміщень в зображеннях Фур'є за часом у безмежному та півбезмежному у вигляді півпростору тілах, коли в них мають місце розриви суцільності по плоских поверхнях.

Так, зокрема, якщо у півпросторі є розриви суцільності по плоских поверхнях S_k ($k=\overline{1, N}$), то вирази для визначення обумовлених ними компонент переміщень в зображеннях Фур'є за часом, можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} \tilde{u}_j(x_0, k) = & \sum_{k=1}^N \iint_{S_k} \sum_{s=1}^3 \tilde{\beta}_{sk}(\xi, k) \sum_{l=1}^3 \left[\hat{D}_{jsk0}^{(l)} \frac{e^{ik_l |x_{k0} - \xi|}}{|x_{k0} - \xi|} + \right. \\ & \left. + \hat{K}_{jsk0}^{(l)} \int_0^{\infty} \frac{H_{jsk0}^{(l)}(x_{k0}, \xi, \tau)}{R(\tau)} d\tau \right] d_{\xi} S, \quad j=\overline{1,3}. \quad (12) \end{aligned}$$

Постійні коефіцієнти диференціальних операторів $\hat{D}_{jsk0}^{(l)}$, $\hat{K}_{jsk0}^{(l)}$ залежать від пружних характеристик тіла та параметрів, які характеризують розташування розривів у тілі; $H_{jsk0}^{(l)}$ - відомі функції. Перший доданок у дужках виразу (12) відповідає випадку безмежного тіла з розривами суцільності середовища.

Відшукування оригіналу для переміщень здійснюється числовою

реалізацією оберненого перетворення Фур'є за часом

$$u_j(x_0, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u_j(x_0, k) e^{-ikt} dk, \quad j=1,3, \quad t > 0. \quad (13)$$

Як приклад розглянуто випадок, коли у півпросторі є розрив по круговій області з площиною, перпендикулярною до границі тіла. Наведені також залежності від часу переміщень у безмежному тілі з аналогічним розривом на поверхні, яку у думці можна сумістити з границею півпростору.

У підсумках коротко сформульовано отримані результати та основні висновки.

У додатку викладено методику визначення швидкості поширення хвилі Релея. Приведені залежності відношень швидкостей поздовжньої, поперечної, релеєвської хвиль від фізичних властивостей матеріалу тіла.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА КОРОТКІ ВИСНОВКИ

У роботі, з використанням методу потенціалів, запропонований єдиний підхід до розв'язання тривимірних динамічних задач теорії пружності для півпростору з довільно розташованими плоскими тріщинами з нерухомим контуром. Вихідні задачі зведені до розв'язування граничних інтегральних рівнянь типу потенціалу Гельмгольца, для усталених коливань, і довільних в часі навантажень, записаних в зображеннях Лапласа та Фур'є за часом. Характерною особливістю отриманих рівнянь є те, що вони не містять інтегрування по безмежній області, яка співпадає з границею півпростору. Такий підхід є достатньо загальним, оскільки не накладає обмежень на в'язність розташування тріщин, конфігурацію, характер напружено-деформованого стану в тілі з тріщинами.

Для побудови наближеного розв'язку отриманих гіперсингулярних інтегральних рівнянь застосовується числово-аналітичний метод, який базується на регуляризованому поданні сингулярних двовимірних інтегралів.

Запропоновано методику визначення тривимірного поля перемі-

шень у півпросторі та безмежному тілі, зумовлених розривами суцільності середовища по довільно розташованих плоских поверхнях.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Метод граничних інтегральних рівнянь поширено на випадок півпростору з довільно розташованими плоскими стаціонарними т-і-щинами, які знаходяться під дією усталених та довільних в часі зовнішніх навантажень;

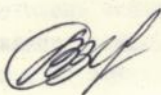
2. Виявлені кількісні та якісні закономірності взаємодії тріщин і границі тіла в залежності від конфігурації тріщин, розташування тріщин, частоти коливань прикладеного навантаження при усталених коливаннях, та часу при ударних навантаженнях.

На основі розглянутих у роботі прикладів можна зробити наступні висновки:

- для розглянутих випадків (дископодібна тріщина, еліптична тріщина) має місце осцилююча залежність амплітуд коефіцієнтів інтенсивності напружень від частоти коливань при дії на поверхнях тріщини гармонійних навантажень з постійною амплітудою коливань. Існують локальні максимуми і мінімуми амплітуд КІН, причому абсолютні максимуми значень КІН перевищують свої статичні аналоги;
- орієнтація тріщини відносно границі півпростору суттєво впливає на значення КІН в околі контура тріщини. Більш небезпечним, з точки зору руйнування тіла, є випадок, коли тріщина паралельна до поверхні тіла;
- для випадку дископодібної тріщини, перпендикулярної до границі тіла і навантаженої нормальними розтягуючими усталеними зусиллями, напрям її поширення у півпросторі залежить від частоти коливань прикладеного навантаження;
- при деяких типах ударних навантажень має місце явище, яке полягає в тому, що при розтягуючих зусиллях, прикладених до поверхонь тріщини, в її околі виникають стискуючі напруження;
- переміщення на границі півпростору, викликані утворенням дископодібного розриву, перпендикулярного до поверхні тіла, значно перевищують переміщення у безмежному тілі, яке містить такий же розрив. При цьому загасання дотичних перем'чень відбувається повільніше, ніж у нормальних.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В РОБОТАХ.

1. Михаськів В.В., Станкевич В.З., Хай М.В. Граничне інтегральне урівняння трьохмерних задач об установившихся колибаньях напівпространства с плоскими трещинами //Изв. АН России, Мех. твердого тела. - 1993. - №6. - с.44-53.
2. Кіт Г.С., Михаськів В.В., Станкевич В.З. Регуляризація та числове розв'язання двовимірних сингулярних інтегральних рівнянь типу хвильового потенціалу на многовиді з краєм //В кн.: Нові підходи до розв'язання диференціальних рівнянь. Мат. тез Всеукраїнської наукової конференції. - Дрогобич. - 1994. - с.63.
3. Хай М.В., Станкевич В.З. Влияние импульсного нагружения на динамическое взаимодействие трещины с границей полупространства // В кн.: Импульсные процессы в механике сплошных сред. Тезисы докладов 1 научной школы. - Николаев. - 1994. - с.62.
4. Станкевич В.З., Хай М.В. Определение перемещений на поверхности тела, обусловленных разрывами сплошности среды // Прикл. механика. - 1994. - 30. - №12. - с. 25-33.
5. Станкевич В.З. Обчислення деяких двовимірних інтегралів, характерних для динамічних задач теорії тріщин в півбезмежному тілі //Мат. методи і фіз.-мех. поля. - 1994. - Вип. 39. - с.



ABSTRACT. V.Z.Stankevyoh. Plane crack interaction with a half-space boundary under dynamic loading.

Thesis presented for a candidate's degree (physics and mathematics) . Speciality: 01.02.04 - mechanics of deformable bodies , Pidstryhach Institute for applied problems of mechanics and mathematics, Ukrainian National Academy of Sciences, Lviv, 1995. Five papers are to be defended where the procedure for solution of 3-D dynamic problems of elasticity theory for a half-space with arbitrary located plane stationary cracks the faces of which are under self-balanced power loads is suggested. The problem is reduced to solution of 2-D boundary integral equations of Helmholtz-potential type with respect to the opposite crack faces displacement jumps. The solutions obtained enable the quantitative and qualitative investigation of the crack interaction with a half-space boundary.

АННОТАЦІЯ. Станкевич В.З. Взаємодія плоских тріщин с границей полупространства при динамическом нагружении.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела, Институт прикладных проблем механики и математики им. Я.С.Подстригача НАН Украины, Львов, 1995.

Защищаются 5 научных работ, в которых предлагается методика решения трехмерных динамических задач теории упругости для полупространства с произвольно расположенными плоскими стационарными трещинами, поверхности которых находятся под действием самоуравновешенных силовых нагрузок. Задача сведена к решению двумерных граничных интегральных уравнений типа потенциала Гельмгольца относительно скачков перемещений противоположных поверхностей трещин. На основе полученных решений проведено количественное и качественное исследование взаимодействия трещин с границей полупространства.

Ключові слова: півпростір, плоска стаціонарна тріщина, динамічні силові навантаження, граничні інтегральні рівняння.

AB 32.804

AB 32.804

Ротапринт ЛьЦНТЕІ Заовлення 235 Тираж 100