

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису
УДК 629.5.02:624.04

Б А Р А Н О В А М А Р І Я Г Е О Р Г І Й В Н А

**ВПЛИВ ВІДШАРУВАНЬ, ВИНИКАЮЧИХ
В ЛЕГКОВАГОВИХ КОМПОЗИТАХ
НА КОНЦЕНТРАЦІЮ НАПРУЖЕНЬ В КОНСТРУКЦІЯХ
ГЛИБОКОВОДНОЇ ТЕХНІКИ**

Спеціальність 05.08.02. «Будівельна механіка корабля»

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв 1994

29.5



00398740 (V)


Робота представлена у вигляді рукопису.

Виконана в Українському державному морському технічному університеті.

- Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
БУРДУН Євген Тимофійович
- Офіційні опоненти - доктор фізико-математичних наук, професор
АННІН Борис Дмитрович
- кандидат технічних наук
ОГОЛЬ Олександр Іванович
- Ведуче підприємство - Центральне конструкторське бюро "Чорноморсудопроєкт", м. Миколаїв.

Захист відбудеться "19" грудня 1994 р.
на засіданні спеціалізованої ради КО53.04.01 при Українському державному морському технічному університеті.
327025, м. Миколаїв, Пр. Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат розіслано "17" ноября 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради. канд.техн.наук  Зашчурдаєв Л.В.

Загальна характеристика роботи.

Актуальність проблеми.

Створення технічних засобів для дослідження шельфу та Світового океану нашою країною здійснюється на принципові труднощі, зв'язані з проблемою оптимального співвідношення міцності та густини конструкційних матеріалів. Традиційні матеріали мають низьку питому міцність, тому найбільш перспективні, з точки зору створення легких та міцних конструкцій, є легковагові дисперсно-наповнені композиційні матеріали, серед яких видне місце займають синтактні пенопласти та їх модифікації.

Створення принципово нових глибоководних технічних засобів пов'язано з переходом до більш досконалих композиційних матеріалів, які дозволили б знизити масогабаритні характеристики глибоководних апаратів.

У теперішній час, сферопластик все більш вводять до складу несучих елементів конструкцій глибоководних технічних засобів, тому частіше він працює в умовах складного напруженого стану (гідростатичне стиснення та осьове розтягування) та забезпечує не тільки плавучість, але і конструкційну міцність апарату.

Не зважаючи на широкі дослідження, які проводились вітчизняними та зарубіжними вченими в цій галузі, до цього часу практично не досліджено напружений деформований стан пружних середовищ з сферичним включенням в умовах складного навантаження (взабічного рівномірного стиснення та осьового розтягування). Недостатньо вивчено проектування композиційних матеріалів на основі макросфер, не вивчено вплив технологічних дефектів типу непроклея, насмачування на межі розподілу фаз на напружено-деформований стан у блоці плавучості.

На порядок денний виходить питання про вплив відшарування, яке з'являється в легковагових композитах, що працюють в умовах одночасної дії гідростатичного стиснення та осевого розтягування, виникаючих в несучих елементах глибоководних конструкцій на напружено-деформований стан композита.

Важність поставленої задачі підкреслюється в аналітичному обзорі Попова Г.Я. за 1992 рік.

Метою дисертації є дослідження впливу відшарувань в легковагових композитах на концентрацію напружень в матеріалі та розробка рекомендацій з проектування легковагових композитів, задовольняючих основним конструкційним вимогам при створенні глибоководних технічних засобів.

Для досягнення цієї мети були сформульовані та розв'язані наступні основні задачі.

1. Побудувати та дослідити аналітичні рішення наступної задачі лінійної теорії пружності:

Розглядається нескінченний пружний простір з сферичною порожниною, підкріпленою порожньою сферичною оболонкою (порожню сферою). Рівномірне осеве розтягування та гідростатичне стиснення, прикладене на нескінченності, приводить до відшарування навколишнього середовища, з створенням контактної поверхні. Задача полягає у визначенні кута відшарування матриці від включення та розподілу напружень уздовж поверхні контакту, а також напружено-деформованого стану в матриці та включенні.

2. Вибрати та обґрунтувати числовий метод рішення рівнянь які описують теоретичні рішення поставленої задачі.

3. Дослідити вплив поверхневих зв'язків між компонентами композита на поверхні розмежування фаз (граничних

умов) на його напруженодеформований стан. Розглядається два варіанта:

- досконалий контакт або повна адгезія між компонентами композита;
- повна відсутність адгезії або наявність ідеального ковзання зовнішній поверхні включення відносно порожнини середовища.

4. Розробити рекомендації з проектування легковагових композиційних матеріалів, задовольняючих експлуатаційним вимогам по створенню глибоководної техніки.

Методи досліджень.

Теоретичні дослідження виконані на базі математичної моделі механіки деформованого твердого тіла у фізичній та лінійній постановці. Сингулярні інтегральні рівняння, одержані в результаті аналітичного рішення задачі, розв'язані числовими методами та їх рішення реалізовано на ЕОМ.

Наукова новизна.

1. Розв'язана нова задача визначення напружено-деформованого стану пружного середовища, яке має порожнє сферичне включення у випадку відшарування уздовж частини контактної поверхні матриця-включення при одночасній дії осьового розтягування та гідростатичного стиснення, у розвитку рішень якої:

- розглянута модель композиційного матеріалу з порожнистим сферичним включенням, яка описує напружено-деформований стан довкола його структурних дефектів;
- досліджено вплив поверхневих зв'язків між компонентами композита на концентрацію напружень в оточенні структурних дефектів;

- розроблена та обгрунтована загальна схема числового рішення просторових задач теорії пружності.

2. Числовий метод "дискретних вихрів" був вперше розповсюджений на просторові осесиметричні задачі лінійної теорії пружності.

3. На основі аналізу отриманих теоретичних рішень виділено клас композиційних матеріалів, наповнених слабо збуреними включеннями.

4. Розроблені принципи підходи до пошуку неблагонадійних співвідношень між геометричними та фізичними параметрами матриці та включення, коли концентрація напружень на контактній поверхні досягає найбільшого значення.

5. Розроблені та обгрунтовані рекомендації з проектування легковагових композиційних матеріалів, задовольняючих основним конструкційним вимогам при створенні глибоководних технічних засобів.

Практична цінність роботи полягає в

- можливості обгрунтовано прогнозувати ушкодження легковагових композиційних матеріалів, наповнених слабо взаємодіючими сферичними порожнистими включеннями у випадках відшарування середовища по частині контактної поверхні матриця-включення при заданій величині зовнішній навантаженості;

- розробці методики розрахунку напружено-деформованого стану навколо дефектів типу відшарування, виникаючих при виробництві композиційного матеріалу або під час його експлуатації;

- становленні теоретично можливого діапазону зміни співвідношення між геометричними та фізичними параметрами

матриці та включення, при якому концентрація напружень на контактній поверхні не досягає найбільшого значення;

- розробці рекомендацій по проектуванню легковагових композиційних матеріалів, які дозволяють уникнути небажаного впливу технологічних дефектів, як то відшарування по частині контактної поверхні на конструкційну міцність глибоководних технічних засобів;

- розширення можливості застосування легковагових композиційних матеріалів в елементах глибоководної техніки на основі використання одержаних в дисертаційній роботі результатів, що дозволить суттєво знизити масогабаритні характеристики та вартість глибоководних технічних засобів.

Особистий внесок автора:

- запропоновано нове аналітичне рішення контактної задачі сферичної оболонки з пружним простором;

- на основі метода рішення сингулярних інтегральних рівнянь вибран та обгрунтован числовий метод рішення поставленої задачі;

- автором виконано аналіз числових результатів;

- узагальнені результати теоретичних та числових досліджень та також розроблені рекомендації з проектування композиційних легковагових матеріалів.

Упровадження наукових результатів.

Результати дисертаційної роботи були використані при проектуванні конструкційних склопластиків несучої рами глибоководного апарату "Скарус" та серії апаратів типу "Дельта", які були сконструйовані у Миколаївському кораблебудівному інституті.

Рекомендації з проектування легковагового композиційно-

го матеріалу на основі макросфер, розроблені у дисертаційній роботі, були включені в альтернативний проект трубо-го ставу видобувного устаткування, розроблений науково-до-слідним проектним інститутом "Океанмаш" м. Дніпропетровськ та, тим часом, дозволи суттєво знизити масогабаритні та вартісні характеристики устаткування.

На захист виносяться:

- рішення нової задачі просторової теорії пружності про визначення напружень, виникаючих навколо відшарування пружної матриці від порожнистого сферичного включення;
- метод числового рішення системи сингулярних інте-гральних рівнянь, що описують аналітичне рішення задач;
- результати числового дослідження напружено-деформо-ваного стану легковагових композитів у випадках відшаруван-ня по частині контактної поверхні ;
- рекомендації по проектуванню композиційних легкова-гових матеріалів для конструкцій глибоководної техніки.

Апробація роботи.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі конструювання та виробництва виробів з композиційних матеріалів Українсь-кого державного морського технічного університету.

Її основні результати обговорювались:

- на Міжнародній конференції Інтерокеанологія, м. Ще-цин, Польща, 1990 р.
- на Всесоюзній науково-технічній конференції "Пробле-ми міцності і технології виготовлення конструкцій з компо-зиційних матеріалів, м. Севастополь, 1990 р.
- на Всесоюзній науково-технічній конференції "Техно-логія", м. Обнінськ, 1990 р.

- на Всесоюзній науково-технічній конференції "Композиційні матеріали в конструкціях глибоководних технічних засобів", м. Миколаїв, 1991 р.

- на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу МКІ у 1991, 1992, 1994 роках;

- на науковому семінарі інституту Гідромеханіки СВ АН СРСР, м. Новосибірськ, 1990 р.

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 4 статті, 3 тези доповідей.

Структура і об'єм роботи.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, заключення, списку використаної літератури і додатку. Матеріали викладені на 181 сторінці машинописного тексту, включаючи 34 малюнки і 4 таблиці. В списку літератури приведено 101 джерело вітчизняних та зарубіжних авторів.

Основний зміст роботи.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі дисертації, наукова новизна практична цінність роботи.

В першому розділі проведено аналітичний огляд проблеми визначення напружено-деформованого стану дисперсно-наповненого композиційного матеріалу.

У першому параграфі цього розділу дано короткий аналіз складу, структури і властивостей композиційних легковагових матеріалів. Показано, що задача зниження масогабаритних характеристик технічних засобів освоєння океану в основному вирішується за рахунок зниження уявної густини сферопластичу при збереженні його відрестатичної міцності. Для одержання сферопластиків мінімальної уявної густини намагаються

мікросфери упакувати з найбільшим коефіцієнтом заповнення об'єму. Найбільш перспективний шлях розвитку – створення нових легковагових композиційних матеріалів – заміна мікросфер макросферами. Суттєвий вклад в рішення цієї задачі внесли вчені інституту проблем міцності Академії наук України: Писаренко Г.А., Амельнович К.К., Родічев Д.Т., Квітка А.А., а також Крещковський П.Г., Білоус К.П., Телегіна Е.Б., Панфілов Н.А., Матвєєв Г.В., Бурдун С.Т., Лавренюк В.Г., Міхімасо Ендо, *Geary A.H.*

При створенні цих нових матеріалів, при просочуванні у вакуумі і в застійних зонах змішувача спостерігається технологічні дефекти, якто непроклеї. Актуальним стає питання про вплив цих дефектів на напружено-деформований стан макросфери і масиву сполучника, що важливо для глибоководних конструкцій, в яких композиційний легковаговий матеріал є не тільки елементом плавучості, але і обслуговує конструкційну міцність.

Прикладами таких облегчених конструкцій: гідроакустичні антени і обтічники підводних човнів; несуча рама і трубний стан видобувного устаткування, призначеного для добування залізо-марганцевих конкрецій; глибоководні апарати "Скарус" і серія типу "Дельта", сконструйовані і виготовлені в Миколаївському кораблебудівному інституті, розглянуті в другому параграфі цього розділу. Тут же дано аналіз роботи мікромакросфер з дефектами типу відмарування на глибинах від нуля до робочої. Зроблено висновок про необхідність рішення поставленої в дисертаційній роботі задачі.

У третьому параграфі дано огляд і аналіз літературних досліджень концентрації напружень, обумовлених

наявності сферичних включень (порожина, шар, оболонка), розташованих як в напівнескінчених, так і в нескінчених середовищах. Проведено аналіз механізмів руйнування сферопластиків при різноманітних комбінаціях напруженого стану.

Четвертий параграф присвячено аналізу універсальних числових методів розв'язання задач теорії сингулярних інтегральних рівнянь.

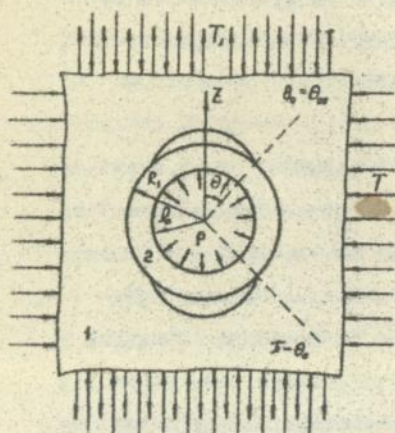
У п'ятому параграфі дано огляд і аналіз робіт, вивчаючих вплив поверхневого зв'язку між матрицею і включенням на пружні і міцнісні властивості композитів. Зроблено висновки, що розвиток теорії пружності композиційних матеріалів іде по шляху рішення нових задач із всебільшє складними умовами механічного контакту між матрицею і включенням.

Другий розділ присвячений аналітичному рішення задач лінійної теорії пружності по визначенню напружено-деформованого стану пружного середовища, яке вміщує частково відшароване порожнисте сферичне включення.

В якості розрахункової моделі розглядалась модель матеріалу з ізольованим включенням, які переносять одержані результати на композит у цілому. Матеріал на макрорівні розглядається як квазіоднорідний і квазіізотропний, при цьому передбачується, що середовище володіє ефективними пружними характеристиками розглядаемого композита.

З вищевказаних міркувань розглядається трьохвірна віссесиметрична пружна задача про контактні напруження, що виникають між пружною порожнистою сферою і нескінченим пружним простором з сферичною порожниною того ж діаметру. Є ізо-рідне і ізотропне поле напружень (гідростатичне стиснення однорідне осьове навантаження), прикладене на нескінченності,

приводить до відриву середовища від сфери по частині межі між ними. Кут відриву визначається величинами θ і $\pi - \theta_0$ (рис. I). В свою чергу оболонка піддається дії



. I.

внутрішнього рівномірного тиску. Задача полягає в визначенні кута відшарування матриці від включення, розподілення напружень уздовж дуги контакту

$\theta_0 \leq \theta \leq \pi - \theta_0$ в пружному середовищі, а також напружено-деформованого стану в матриці та включенні. Ширина межі відшарування, визначається з умо-

ви руйнування склейки з використанням коефіцієнтів інтенсивності напруг. Задача, що розглядається, є задачею лінійної теорії пружності із змішаними граничними умовами. Граничні умови відповідають нульовому нормальному і тангенціальному напруженню на поверхні відшарування і безперервному нормальному і тангенціальному зміщенню при переході через контактну поверхню.

При розв'язанні обрано шлях складення системи інтегральних рівнянь і наступного числового рішення.

Відповідно з прийнятою постановкою для такого класу задач припускається, що середовище на нескінченності є ізотропним і однорідним і піддається дії розтягуючих і стискаючих напружень. Завдяки такому підходу використовується прийом аналогічний використаному при рішенні задачі про концентра-

цір напружень в пластинах, ослаблених отвором. Рішення задачі подається у вигляді суми двох рішень, одне з яких відповідає основному напруженому стану, а друге збуреному і визваному наявністю включення. Для даного вісесиметричного напруженого стану відповідне напруження і зміщення розраховується при допомозі формул роботи Лур'є.

Інтегральні рівняння задачі будуються на основі одержаних рішень допоміжних задач і граничних умов

$$\begin{cases} \sigma_r(\theta) = 0 & 0 < \theta < \theta_0 \\ \tilde{\tau}_{r\theta}(\theta) = 0 & \text{якщо } \pi - \theta_0 < \theta < \pi \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_r^{(1)} = -u_r^{(2)} \\ u_\theta^{(1)} = -u_\theta^{(2)} \end{cases} \text{якщо } \theta_0 < \theta < \pi - \theta_0$$

Тут же використовується розкладання $\sigma_r(\theta)$ та $\tilde{\tau}_{r\theta}(\theta)$ в ряд по поліномам Лежандра.

$$\sigma_r(\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sigma_n P_n(\cos\theta) \quad \tilde{\tau}_{r\theta}(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{\tau}_n \frac{dP_n(\cos\theta)}{d\theta}$$

$$\sigma_n = \frac{2n+1}{2} \int_0^{\pi} \sigma(\theta) P_n(\cos\theta) \sin\theta d\theta$$

$$\tilde{\tau}_n = \frac{2n+1}{2n(n+1)} \int_0^{\pi} \tilde{\tau}(\theta) \frac{dP_n(\cos\theta)}{d\theta} \sin\theta d\theta =$$

Для визначення величин нормальних і дотичних напружень в області контактів одержана наступна система двох інтегральних рівнянь:

$$\begin{cases} \int_{\theta_0}^{\pi-\theta_0} [A\beta(\alpha) + B\tau(\alpha)] \sin \alpha d\alpha = f \\ \int_{\theta_0}^{\pi-\theta_0} [C\beta(\alpha) + D\tilde{\tau}(\alpha)] \sin \alpha d\alpha = m \end{cases} \quad (1)$$

Коефіцієнти A, B, C, D є дрібно-раціональні функції від n та їх можливо розкласти на елементарні дроби. У підсумку, після дальніших перетворень коефіцієнти A, B, C, D інтегральних рівнянь виражаються через повні еліптичні інтеграли першого і другого роду від модуля k . Після виділення особливих регулярних частин ядер інтегральних рівнянь у вигляді безперервних функцій, система (1) перетворена до вигляду:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \beta(t) K_{11}(x, t) dt + \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \tilde{\tau}(t) K_{12}(x, t) dt + \\ & + \frac{2\gamma}{\pi} \int_{-1}^1 \beta(t) \frac{\ln|x-t|}{S_1} dt + \int_{-1}^1 \tilde{\tau}(t) \frac{\operatorname{sgn}(t-x)}{S_1} dt = g_1(x) \\ & \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \beta(t) K_{21}(x, t) dt + \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \tilde{\tau}(t) K_{22}(x, t) dt - \\ & - \frac{2\gamma}{\pi} \int_{-1}^1 \tilde{\tau}(t) \frac{\ln|x-t|}{S_1} dt + \int_{-1}^1 \beta(t) \frac{\operatorname{sgn}(t-x)}{S_1} dt = g_2(x) \end{aligned} \quad (2)$$

Ядра цих рівнянь $K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}$ на поверхні сфери при $t \rightarrow x$ має особливість логарифмічного типу. При рішенні системи необхідно враховувати характер асимптотики рішення поблизу контуру межі відшарування: при переході до цього контуру (з області контакту) напруження ростуть по кореневому закону і коливаються з зростаючою частотою. Контактні напруження знаходяться в класі функцій Гільдера, які мають в точках ± 1 інтегральні властивості. Вибір єдиного

рішення здійснюється за допомогою додаткової умови.

Третій розділ присвячено вибору і обґрунтуванню числового методу рішення системи двох інтегральних рівнянь, які описують аналітичне рішення поставленої задачі. Розглянуто варіант задачі у випадку ідеального повзання зовнішній поверхні оболонки, приведені тестові задачі, які підтверджують дійсність одержаних результатів.

Приведені загальні схеми двох числових методів рішення системи інтегральних сингулярних рівнянь:

- метода скінчених сум;
- метода "дискретних вихрів" (малорозповсюджений на задачі лінійної теорії пружності, який всюди використовується в гідродинаміці і аеродинаміці).

Реалізація метода скінчених сум для числового рішення системи сингулярних інтегральних рівнянь на ЕОМ виявилася громіздкою і стійкості рахунку вдалося досягти тільки для часткових випадків, більш простих випадків задач ($\frac{T}{T_2} = 0$, $\frac{R_1}{R_0} = 1$, $\frac{E_1}{E_0} = 1$, $\theta_0 \rightarrow 0$). Причина - труднощі в виборі цдалих квадратурних формул, які володіють регуляризуючим властивістю для сингулярних інтегралів, які входять до рівнянь системи.

В ході числового експерименту для рішення шуканої системи сингулярних інтегральних рівнянь було використано, перенесений з гідродинаміки, новий, для рішення просторових задач теорії пружності, метод "дискретних вихрів". Цей метод дозволив порівняно просто розв'язати чисельно систему сингулярних інтегральних рівнянь без попередньої регуляризації.

Для рішення системи (2), після попереднього позбавлення від логарифмічних властивості, вибираються дві множини:

$E = \{t_k, k=1, \dots, n\}$ $E_0 = \{x_j, j=0, 1, \dots, n\}$, які утворюють розбив відрізка $[-1, 1]$ з кроком h .

В шуканій задачі рішення на кінцях відрізка знаходиться в однакових умовах і обертається в нескінченність. Аналогічна ситуація в аеродинаміці – другий вид обтічності (рис. 2).

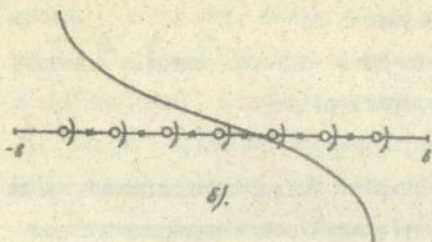


Рис. 2.

Розрахункова схема розглядаемого метода полягає в тому, що відрізок $[-1; 1]$ ділиться на n рівних частин довжиною h на відстані $1/4 h$ від лівого кінця кожної частини ділянки розміщуються розрахункові точки t_k ($k = 1, \dots, n$), в котрих враховуються значення шуканих функцій $\psi(t_k)$, $\varphi(t_k)$ (де $\psi(t) = \frac{\delta(t)}{T_2}$; $\varphi(t) = \frac{\tau(t)}{T_2}$). На такій же відстані від правого кінця розміщуються контрольні точки x_j ($j = 0, 1, \dots, n$) в котрих виконуються граничні умови. Таким чином, кожна контрольна x_j точка розміщується в середині між сусідніми розрахунковими t_k та t_{k+1} . Тому суми, якими замінюються сингулярні інтеграли відповідають головним значенням інтегралів в розумінні Коши.

Бізьмемо дві сітки

точок:

- для розміщення розрахункових точок $t_k = 1 + kh$,

$h = \frac{2}{n+1}$, $k = 1, \dots, n$

- для контрольних точок

$x_j = t_k + \frac{h}{2}$, $k = 0, 1, \dots, n$

Розрахункова схема роз-

Використування двох сіток в методі "дискретних вихрів" дозволяє побудувати добре обумовлену систему лінійних алгеб-

різних рівнянь для визначення контактних напружень поставленої задачі.

$$\frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n \frac{\psi(t_k) h}{(t_k - x_j) S_1} - \frac{1}{S_1} \psi(x_j) - \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n M_2(x_j, t_k) \psi(t_k) + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n M_1(x_j, t_k) \psi(t_k) = G_1(x_j)$$

$$- \frac{2\gamma}{\pi} \sum_{k=1}^n \frac{\psi(t_k) h}{(t_k - x_j) S_1} - \frac{1}{S_1} \psi(x_j) + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n M_3(x_j, t_k) \psi(t_k)$$

$$- \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n M_4(x_j, t_k) \psi(t_k) = G_2(x_j)$$

$$\sum_{k=1}^n \psi(t_k) h = 0$$

$$\sum_{k=1}^n \psi(t_k) h = 0, \quad j = n$$

Четвертий розділ присвячено числовому аналізу рішення поставленої задачі у випадку:

- повний контакт;
- ідеальне ковзання зовнішній поверхні оболонки.

Описані програми для IBM PC, які реалізують запропоновані в дисертаційній роботі алгоритми числового розв'язку інтегральних рівнянь.

Проведений аналіз напруженого стану нескінченного середовища із сферичною оболонкою показав, що наявність часткового відшарування середовища від включення приводить до значного змінення напружено-деформованого стану включення і матриці. Найбільше значення коефіцієнтів концентрації напружень діють на межі розділу між включенням і середовищем в районі $\theta = 0 - 50^\circ$. Максимальне стискаюче напруження виникає в середині поверхні контакту (на екваторі) (рис. 3).

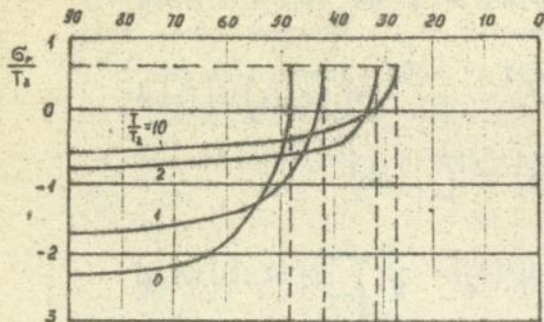


Рис. 3

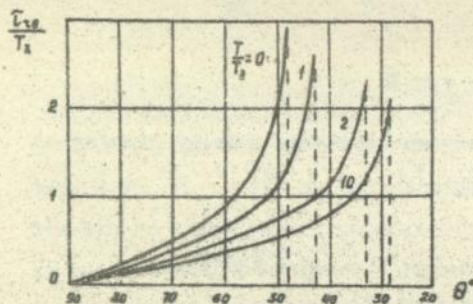


Рис. 4.

З зростанням гідростатичного стиснення ширина межі відшарування зменшується. Максимальних значень дотичні напруження $\tilde{\tau}_{r\theta}$ досягають в оточенні точки відшарування. Абсолютна величина $\tilde{\tau}_{r\theta}$ в небезпечній точці зменшується з зростанням відношення $\frac{T_1}{T_2}$ (рис. 4).

Виконані дослідження дозволили встановити, що відсутність поверхових зв'язків між сферичною оболонкою і середовищем змінює напружений стан матриці.

Максимальне значення σ_{φ} внутрішній поверхні порожнини середовища знаходиться в районі $\theta = 30 - 40^\circ$, як у випадку повного контакту, так і при ідеальному ковзанні, але у випадку останнього, абсолютна величина напруження суттєво зростає в порівнянні з повним контактом. На зовнішній поверхні оболонки абсолютна величина напруження у випадку ідеального ковзання зменшується в районі $30 - 40^\circ$.

Проведено аналіз впливу геометричних і фізико-механіч-

них параметрів неоднорідності і середовища на напруження, які виникають на поверхні розділу матриця-включення.

Аналізуючи одержані результати було відмічено, що напружений стан матриці і включення суттєво залежить від параметра відносної жорсткості. Існують такі небезпечні відношення геометричних і фізичних параметрів, коли концентрація напружень, як в середовищі, так і у включенні досягає найбільшого значення (рис. 5, 6). В той же час при певних значеннях параметра жорсткості λ відносно товщини оболонки ρ

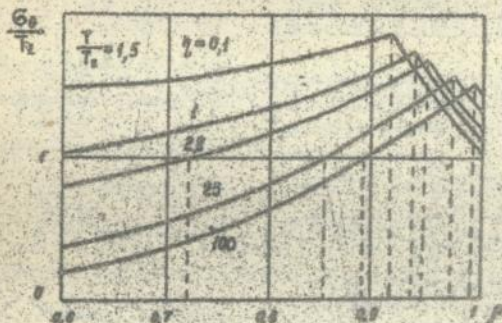


Рис. 5.

напружений стан середовища однорідний ($\rho = 0,72$; $\lambda = 2$) (рис. 7).

В цьому розділі подані результати теоретичних досліджень по покращенню фізико-механічних властивостей існуючих марок дисперсно-наповнених прожні-

ми сферичними включеннями легковагових композиційних матеріалів в елементах глибоководних технічних засобів. Розроблені рекомендації по застосуванню легковагових композиційних матеріалів в елементах глибоководних технічних засобів.

На основі числових досліджень, продемонстрованих графіками (5, 6, 7) і таблицей I зроблено висновок, що при конструванні елементів глибоководної техніки найбільший ефект дає використання макровключень:

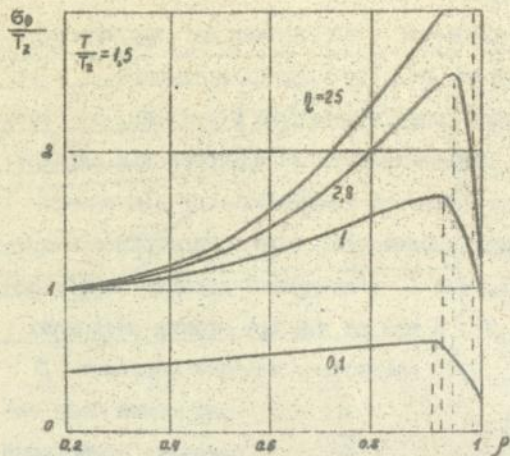


Рис. 6

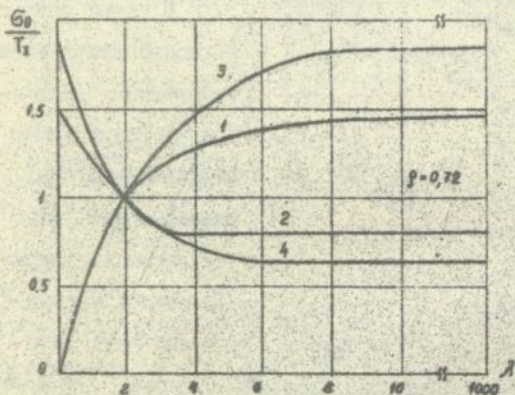


Рис. 7.

- на глибинах до 2000 м і в умовах гідростатики і осевого розтягання найбільш вдалими є термопластові оболонки;
- на глибині більш ніж 2000 м - силікатні; особливо керамічні, фарфорові, корундові.

На заключення приведені основні результати роботи, які зводяться до наступного:

1. На основі аналізу сучасних методів рішення задач лінійної теорії пружності побудовано аналітичне рішення задачі про визначення контактних на-

пружень, виникаючих в нескінченному пружному середовищі, що містить пружну сферичну оболонку при наявності часткового відшарування у випадках:

а) досконалого контакту;

Таблиця 1

ТИПИ МІКРО - МАКРОСФЕР, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В КОНСТРУКЦІЯХ ГЛУБОВОДНОЇ ТЕХНІКИ

Матеріал	Густина г/см	Уявна густина г/см	Відношення внутр. рад. оболонки до зовнішнього RO/R1	Модуль Юнга 10 ⁹ МПа	Відношення модулей Ю, включення та патриси E0/E1	Реально досягнута максимальна глибина м.
МАКРОСФЕРИ						
Сталь	7.9	2.1	0.91	2.165	65	1600-2000
Титан	4.5	1.28	0.89	1.1	32	3500-4000
Термопласт	1.1	0.3	0.90	0.007	2.8	1500
Склопласт	1.9	0.5	0.91	0.25-0.3	7.3-8.8	2000
Скло	2.2-2.8	0.6-0.7	0.90-0.91	0.48-0.85	14 - 25	2000-6000
Кераміка азнітова	1.7-1.9	0.1-0.14	0.980-0.981	0.48-0.81	14 - 21	1000
		0.15-0.20	0.978-0.972			1500
		0.21-0.25	0.970-0.968			2500
		0.28-0.30	0.964-0.961			4000
		0.30-0.40	0.959-0.954			5500
Фарфор високоглиноземистий	2.2-2.4	0.1-0.14	0.983-0.980	0.71-0.84	24	1000
		0.15-0.20	0.975-0.970			2500
		0.21-0.25	0.968-0.963			4000
		0.28-0.30	0.961-0.958			5500
		0.30-0.40	0.952-0.942			7000
Корунд	3.98	0.15-0.20	0.990-0.984		115	2500
		0.21-0.25	0.983-0.978			4000
		0.26-0.30	0.977-0.972			5500
		0.31-0.40	0.971-0.965			11300
МІКРОСФЕРИ						
СКЛО						
США, "Емгелон" FTD 2021	2,3	0.24	0.96	0.48-0.85	14-25	6500
США, "ЗМ" В 15 В	2,3	0.12-0.18	0.99-0.96	0.48-0.85	14-25	3000
США, "ЗМ" В 40 В	2,3	0.34-0.40	0.95-0.94	0.48-0.85	14-25	9000
СРСР, НСО-АВ гр. А	2,3	0.24-0.30	0.963-0.959	0.79	20	4500
СРСР, НСО-АВ гр. В	2,3	0.31-0.38	0.958-0.942	0.78	20	6500
СРСР, ЖВП	2,3	0.21-0.40	0.96-0.94	0.89	28	4500-9000

б) ідеального ковзання поверхні включення відносно порожнини середовища.

2. Запропоновано і обґрунтовано метод числового рішення задачі. Вперше доведено справедливість переносу метода "дискретних вихрів" із аеродинаміки в теорію пружності не тільки для розв'язання плоских задач, а і для визначення полів напруг в складних просторових вісесиметричних задачах теорії пружності.

3. Проведено аналіз впливу геометричних і фізико-механічних параметрів неоднорідності і середовища на напруження, що виникають на поверхні розмежування матриця-включення.

4. На основі одержаних результатів виділено клас композиційних матеріалів, наповнених слабо збуреними включеннями.

5. Знайдено несприятливі співвідношення між геометричними і фізико-механічними характеристиками компонентів композиційного матеріалу, при яких концентрації напруг на контактній поверхні досягають найбільшого значення.

6. Розроблено рекомендації по використанню мікромакросфер в елементах глибоководної техніки.

7. Практичне використання одержаних результатів дозволяє суттєво розширити можливості використання легковагових композиційних матеріалів в елементах глибоководної техніки, що дозволяє значно знизити масогабаритні характеристики і вартість глибоководних технічних засобів.

В додатках приведені тексти програм, деякі громіздкі формули аналітичного рішення задачі.

Основні матеріали дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Баранова М.Г., Бурдун Е.Т. Упругая среда с частично отслоившимся полым сферическим включением. //Строительная механика корабля: Сб. научн. тр. - Николаев, НКИ, 1990, - с.74-90.

2. Баранова М.Г., Бурдун Е.Т. Численный метод решения задачи об определении напряженно-деформированного состояния легковесного композиционного материала с частично отслоившимся сферическим включением. //Строительная механика корабля. Сб. научн. тр. - Николаев: НКИ, 1993, с.81-85.

3. Баранова М.Г. Влияние частично отслоившегося включения на напряженно-деформированное состояние композита. //Строительная механика корабля. Сб. научн. тр. - Николаев: НКИ, 1993, с.86-91.

4. Baranova M, Burdun E *Studies of stress concentration in elastic body due to partly separated hollow spherical inclusion* /International conference on ocean research and underwater technology. Interocean Technology 90 - p. 15-22.

5. Баранова М.Г., Бурдун Е.Т. Обоснование численного метода решения задачи об определении напряженно-деформируемого состояния легковесного композиционного материала с частично отслоившимся сферическим включением. //Композиционные материалы в конструкциях глубоководных технических средств. Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции. - Николаев, 1991.

6. Баранова М.Г., Бурдун Е.Т. Прочность легковесного композиционного материала с частично отслоившимся полым сферическим включением. //Проблемы прочности и технологии изготовления конструкций из композиционного материала. Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции. - Севастополь, 1990.

7. Баранова М.Г., Бурдун Б.Т. Расчет конструкции грузовой стрелы агрегата установки для добычи железо-марганцевых конкреций. Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции НПО "Технология", - Обнинск, 1990.

Баранова М.Г. Влияние отслоений, возникающих в легковесных композитах, на концентрацию напряжений в конструкциях глубоководной техники. (На правах рукописи.)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.06.02. - "Строительная механика корабля", Украинский государственный морской технический университет.

В работе предлагается решение новой задачи об определении напряженно-деформированного состояния упругой среды, содержащей полое сферическое включение в случае отслоения на части контактной поверхности матрица-включение при одновременном действии растягивающих напряжений и гидростатического обжатия.

Исследовано влияние отслоений, возникающих в легковесных композитах, на концентрацию напряжений в материале.

Разработаны и обоснованы рекомендации по проектированию легковесных композитов, удовлетворяющих конструктивным требованиям при создании глубоководных технических средств.

Ключові слова: оболонка, відшарування, глибоководні технічні засоби.

Baranova M. Influence of separations arising in light-weight composites on stress concentration in deep sea structures (Manuscript).

The dissertation for a Candidate of Technical Sciences Degree on speciality 05.06.02 - Shipstructural mechanics, Ukrainian State Maritime Technical University, Nikolaev, 1994.

This paper presents a solution of a new problem determining stress-deformation state of elastic body containing a hollow spherical inclusion partly separated on a part of the contact interface matrix-inclusion under simultaneous effect of axial tension and hydrostatic compression. The influence of separations arising in light-weight composites on stress concentration in material has been studied.

The recommendations on the design of light-weight composites meeting design requirements for building deep sea technical devices have been developed.

AB 31.570

AB 31.570