

ОДЕСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО - БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах копису

Ткачук

ТКАЧУК ОЛЕНА ЮРІЇВНА

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ПРУЖНОВ'ЯЗКОПЛАСТИЧНОГО МАСИВУ ВІД ДІЇ
СИСТЕМИ ШТАМПІВ В УМОВАХ МІСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Спеціальність 05.23.17 - будівельна механіка

Автореферат

дисертації на вшуквання наукового ступеню
кандидата технічних наук.

Одеса 1993 р.

70 28.000

Дисертація є рукописом.

Праця виконана в Одеському інженерно-будівельному інституті

- Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Грішин В.О.
- Офіційні оцінювачі - доктор технічних наук,
професор Елсуф'єв С.А.,
кандидат технічних наук,
доцент Дубровський М.П.

Ведуча організація - Проектно-вишукувальний та конструкторсько-технологічний інститут "Одеський будпроект"

Захист відбудеться "12" листопада 1993 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д.058.41.01 в Одеському інженерно-будівельному інституті за адресою : 270029 , Одеса - 29 , вул. Дідріхсона, 4 , ОІБІ, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського інженерно-будівельного інституту за адресою : 270029 , Одеса - 29 , вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат надіслано "10" вересня 1993 р.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802411 (G)

Вчений секретар спеціалізованої Ради

Маланова

МАЛАХОВА Н. О.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Досліджується плоска контактна задача розрахунку пружнов'язкопластичного масиву від дії системи штампів. Система штампів являє собою модельне відображення уривчастих конструкцій, які використовуються, наприклад, в будівництві фундаментів під несучі конструкції промислових та цивільних будівель. Вартість фундаментів складає 10-20% від загальної вартості будівель. Тому доцільним вважається розробка та впровадження в практику будівництва економічних рішень, які забезпечують зниження трудомісткості, матеріаломісткості та вартості їх підземної частини. Одним з таких рішень є використання при проектуванні пружнопластичної моделі масиву, а на практиці - заміна неперервних конструкцій - преривчастими. Нова модель масиву дозволить визначити напружено-деформований стан середовища на усіх стадіях його роботи, а преривчасті конструкції фундаментів мають декілька переваг у порівнянні з неперервними і дають економічний ефект.

Мета роботи: розробка методу розрахунку напружено-деформованого стану масиву від дії системи штампів в умовах плоскої деформації з більш повним обліком реальних властивостей його матеріалу.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі ставляться такі задачі:

- вибір моделі масиву, що деформується, яка б найбільш повно відображала поведінку реального середовища;

- одержання ісходних рівнянь задачі, що розглядається;

- розробка алгоритму розрахунків і складення програми для ЕОМ;

- розв'язання характерних задач, аналіз одержаних результатів та їх порівняння з дослідом.

Наукова новізна роботи полягає у наступному:

1. Для розрахунку напружено-деформованого стану масиву від дії системи штампів застосовується пружнов'язкопластична модель, котра базується на теорії течії із зміцненням і теорії в'язкопластичної течії.

2. Досліджується поява та розвиток пластичних зон в масиві, що деформується.

3. Досліджується формування зон взаємного впливу штампів друг на друга. Викрито закономірності і виявлено основні параметри цих

зон, які забезпечують оптимальну спільну роботу масиву і конструкції.

Практичне значення роботи складається з того, що:

- розроблену методику можна використовувати для одержання числових результатів розрахунку напружено-деформованого стану пружно-в'язкопластичного масиву від дії системи штампів. Ця модель більш повно відображає поведінку середовища, що деформується, що наближує результати розрахунків до даних експериментів;

- програми, які розроблені для ЕОМ, дозволяють використувати згадану методику для проектування реальних споруд.

Висновки. Методика розрахунків, що пропонується, використовувалась організацією "Укрпобутпромбудмонтаж" при проектуванні преривчастих конструкцій фундаментів під будинок побуту.

До захисту пропонується:

- методика розрахунку напружено - деформованого стану пружно-в'язкопластичного масиву від дії системи штампів;

- алгоритми розв'язання згаданих задач та програми, складені на алгоритмічній мові Фортран IV;

- аналіз одержаних результатів розрахунків та їх співставлення з даними експериментів.

Випробування роботи. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень були вкладені на :

- республіканській науково - технічній конференції "Дифференціальні та інтегральні рівняння та їх застосування", 1987 р.;

- IV Всесоюзній конференції "Змішані задачі механіки деформованого тіла" 1989 р.

- науково - технічних конференціях професорів та вчителів Одеського інженерно - будівельного інституту у 1988, 1989, 1991 роках.

Публікації. Результати виконаних досліджень опубліковано у шести статтях.

Об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох глав, заключення, списку використаної літератури та додатків. Дисертацію викладено на 124 сторінках, вона містить 33 малюнки, 1 таблицю, список літератури з 149 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі доводиться актуальність теми та мета досліджень.

В першій главі приведено аналіз стану проблеми й короткий літературний огляд по темі дисертаційно. роботи.

Великий вклад у дослідження контактних задач внесли вчені: Олександров В.М., Березанцев В.Г., Бугров А.К., Волович І.І., В'ячов С.С., Галін Л.А., Генієв П.А., Горбунов-Посадов М.І., Дідух Б.І., Івлєв Д.Д., Іоселевіч В.А., Зарецький Ф.К., Кляйн Г.К., Мурзенко Ю.Н., Ніколаєвський В.Н., Попов Г.Я., Рвачов В.Л., Соколовський В.В., Фадєєв А.Б., Федоров І.В., Флорін В.А., Цитович Н.А., Ширінкулов Т.Ш., Широков В.Н., Штаєрман І.Я. та інші.

У великій кількості робіт використовувалась модель лінійно деформуємого середовища. Така модель широко використовується завдяки нижче переліченим перевагам розрахункової схеми.

- напруження та деформації пов'язані між собою лінійним законом Гука;
 - деформації визначаються через переміщення лінійними співвідношеннями Коши;
 - має місце існування тільки одного рішення ісходних рівнянь.
- До недоліків моделі лінійно деформуємого середовища слід віднести:
- їх використання призводить до різкого підвищення розрахункових реактивних тисків по краях штампу, що не підтверджується дослідними даними;
 - навіть при незначних навантаженнях масив, що деформується не може залишатися пружним, а деяка його частина переходить у пластичний стан. Недооцінюван'я цього факту призводить до розходження теоретичних та дослідних даних.

З метою усунення вказаних недоліків в деяких працях почали використовувати модель теорії крайової рівноваги. Ця теорія мала розвиток у працях Березанцева В.Г., Генієва Г.А., Малишева М.В., Ніколаєвського В.Н., Соколовського В.В. Особливо широке застосування в теорії крайової рівноваги одержала модель жорсткоідеальнопластичного тіла. Пружні деформації тут ігноруються, так як і підвищення напруг більш граничних значень. При

розвантаженні деформації не відновлюються й є повністю пластичними.

У працях Генієва Г.А., Єрхова М.І., Івлева Д.Д. при використанні цієї моделі були розв'язані плоскі та осесиметричні задачі розрахунку масиву, що деформується, від дії навантаження або штампю.

В рішеннях, одержаних з використанням цієї теорії не ліквідується повністю недоліки моделі лінійно деформуемого середовища й виникають додаткові:

- не виконується вимога про кр.лову рівновагу в усіх місцях середовища,

- при визначенні несучої спроможності не враховуються деформації масиву.

Наступним етапом в розв'язанні контактних задач є застосування пружнопластичних моделей.

Сучасний стан теорії пластичних тіл викладений в працях Анніна Б.Д., Єрхова М.І., Зубчанінова В.Г., Івлева Д.Д., Ільюшина А.А., Писаренко Г.С., Лебідєва А.А., Прагера В., Ходжа Ф.Г., Сєдова Л.І. та інших.

В працях Бугрова А.К., В'ялова С.С., Зарецького Ю.К., Зархі А.А., Малишева М.В., Соломіна В.І. із застосуванням цієї моделі розв'язані плоскі задачі розрахунку основ від дії навантаження чи штампю.

Для широкого класу геоматеріалів більш переважно використовувати теорію пружнопластичного тіла, що зміцнюється, котра розроблена Івлевим Д.Д., Биковцевим Г.І., Іосєлевичем В.А., Ніколавським В.Н., Друкером Д., Прагером В.

Для розв'язання багатьох практичних задач треба враховувати властивості середовища, які залежать не тільки від пружних та пластичних факторів його матеріалу, а також і від в'язких. Дослідження свідчать, що для багатьох геоматеріалів в'язкі властивості середовища виявляються одночасно з пластичними. Січювні положення теорії в'язкопластичності розроблені Прагером В., Пежиной П. В працях Маслова Н.Н., В'ялова С.С. теоретично й з дослідів доведена придатність цієї моделі для ґрунтового середовища.

Розв'язання задачі про дію на масив системи штампів в пружнопластичній та пружнов'язкопластичній стадіях ще не досліджено.

Тому постановка й розв'язання цієї контактної задачі має велике практичне та теоретичне значення.

В другій главі визначені основні диференціальні рівняння задачі, що розглядається, при малих деформаціях, котрі записані в прирощеннях переміщень деформацій та напруг. Зв'язок між компонентами тензора приросту деформацій і компонентами тензора приросту переміщень визначається співвідношеннями Коши :

$$\epsilon_{1j} = \frac{1}{2} (du_{1,j} + du_{j,1}) , \quad (1)$$

$$\text{де: } du_{1,j} = du_1 / dx_j , \quad 1, j = 1, 3 .$$

Будемо вважати, що зв'язки риси проявляються тільки після переходу тіла до пластичного стану. Тому скалярну швидкість деформацій запишемо як суму пружної та в'язкопластичної складових:

$$\dot{\epsilon}_{1j} = \dot{\epsilon}_{1j}^e + \dot{\epsilon}_{1j}^{vp} , \quad (2)$$

де e, vp - індекси пружного та в'язкопластичного середовища.

Закон Гука, записаний в швидкостях деформацій та напруг має вигляд:

$$\dot{\epsilon}_{1j}^e = C_{1jnm} \dot{\sigma}_{nm} . \quad (3)$$

де C_{1jnm} - тензор коефіцієнтів пружних деформацій.

Для визначення швидкості пластичних деформацій скористаємося наслідком принципу максимуму Мізеса :

$$\dot{\epsilon}_{1j}^p = \mu^0 \dot{f} \cdot \sigma . \quad (4)$$

де $f = f (\sigma_{1j}, \epsilon_{1j}^p, \chi_1)$ - функція навантаження, χ_1 - параметри упругнення.

Приріст пластичних деформацій визначемо з (4)

$$d\epsilon_{1j}^p = d\lambda \dot{f} \cdot \sigma_{1j} . \quad (5)$$

де:

$$d\lambda = h^{-1} \dot{f} \cdot \sigma_{1j} d\sigma_{1j} .$$

$$h = - \frac{f \cdot \epsilon^p \cdot f \cdot \sigma_{mn}}{f + f \cdot \chi_1 \cdot \dot{\chi}_1}$$

Співвідношення для швидкості в'язкопластичних деформацій запишемо у вигляді:

$$\dot{\epsilon}_{1j}^{vp} = \gamma \langle \Phi(F) \rangle F \cdot \sigma_{1j} \quad (6)$$

де

$$\langle \Phi(F) \rangle = \begin{cases} 0, & \text{коли } F \leq 0, \\ \Phi(F), & \text{коли } F > 0; \end{cases}$$

γ - параметр в'язкості середовища.

Функція течії F визначає перехід середовища з пружного у в'язкопластичний стан і має вигляд:

$$F = f + f_0$$

$$\text{де } f = f(\sigma_{1j}, \epsilon_{1j}^{vp}, \chi_1);$$

$$f_0 = c \cos \rho.$$

Приймаємо:

$$\Phi(f) = \exp \left[M \left(\frac{f - f_0}{f} \right) \right] - 1, \quad (7)$$

де M - стала.

Як функція навантаження в праці прийнята умова Кулона - Мора:

$$\left(\frac{\sigma - a \epsilon^p}{3} - \frac{\delta}{\sqrt{3}} \sin \varphi + \frac{a \bar{\epsilon}^p}{\sqrt{3}} \sin \varphi \right) (1 - x) + \\ + (\delta \cos \varphi - a \bar{\epsilon}^p \cos \varphi) (1 + x) - \sigma_p = 0; \quad (8)$$

де: $\epsilon^p, \bar{\epsilon}^p, \varphi$ - інваріанти тензора пластичних деформацій;

σ, δ, φ - інваріанти тензора напружень.

Використовуючи рівняння віртуальної праці й мінімальний принцип для напруг в теорії пластичної течії, визначемо функціонал приросту енергії:

$$d\Pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} d\sigma_{1j} d\varepsilon_{1j} d\Omega - \int_{\Omega} dQ_1 du_1 d\Omega - \int_{S_2} dq_1 du_1 dS_2. \quad (9)$$

який після перетворень має вигляд :

$$d\Pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [B_{1111} (du_{1,1})^2 + 2 B_{1133} du_{1,1} du_{3,3} + \\ + B_{3333} (du_{3,3})^2 + \frac{1}{4} B_{1313} (du_{1,3} + du_{3,1})^2] d\Omega - \\ - \int_{\Omega} dQ_1 du_1 d\Omega - \int_{S_2} (dq_1 du_1 + dq_3 du_3) dS_2. \quad (10)$$

де du_1, du_3 - приращення горизонтальних чи вертикальних переміщень ;

dq_1, dq_3 - горизонтальні та вертикальні складові навантаження.

В третій главі запропоновані методи рішення розглядаємої крайової задачі, які містять:

1. дискретизація функціоналу;

2. побудову ітераційного процесу для рішення основних рівнянь, одержаних після мінімізації (10).

Дискретизація основних рівнянь виконана за допомогою методу апроксимації функціоналу. Перевага цього методу полягає в тому, що в результаті виходить система алгебраїчних рівнянь стрічкової структури, а матриця коефіцієнтів цієї системи симетрична та позитивно визначена.

Для рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь використувався метод змінних параметрів пружності тому, що він забезпечує крашу в порівнянні з іншими методами швидкість ітераційного процесу.

Для одержання числових результатів поставленої задачі розроблено алгоритм та складено програму на алгоритмічній мові Фортран. Програма дозволяє:

1. моделювати деформуемий масив пружним, пружноеластичним із

зміцненням й пружнов'язкопластичним середовищем;

2. Виконувати розрахунки у залежності від крайових умов в зоні контакту:

- повне зцепплення штампів з основою масиву;
- їх вільне ковзання;

3. Враховувати неоднорідність деформованого середовища.

В четвертій главі наведено результати досліджень напруженодеформованого стану пружнопластичного та пружнов'язкопластичного масиву від дії системи штампів, а саме:

- аналіз та порівняння напружено-деформованого стану пружнов'язкопластичного масиву від дії от одного, двох та трьох штампів, еквівалентних за площею;

- дослідження формування в основі пружних ядер, пластичних областей та появи зон взаємного впливу штампів;

- вплив геометричних параметрів системи штампів на розвиток напружено-деформованого стану масиву;

- дослідження напружено-деформованого стану однорідного та неоднорідного масиву при зміні модуля деформації та пружності шару

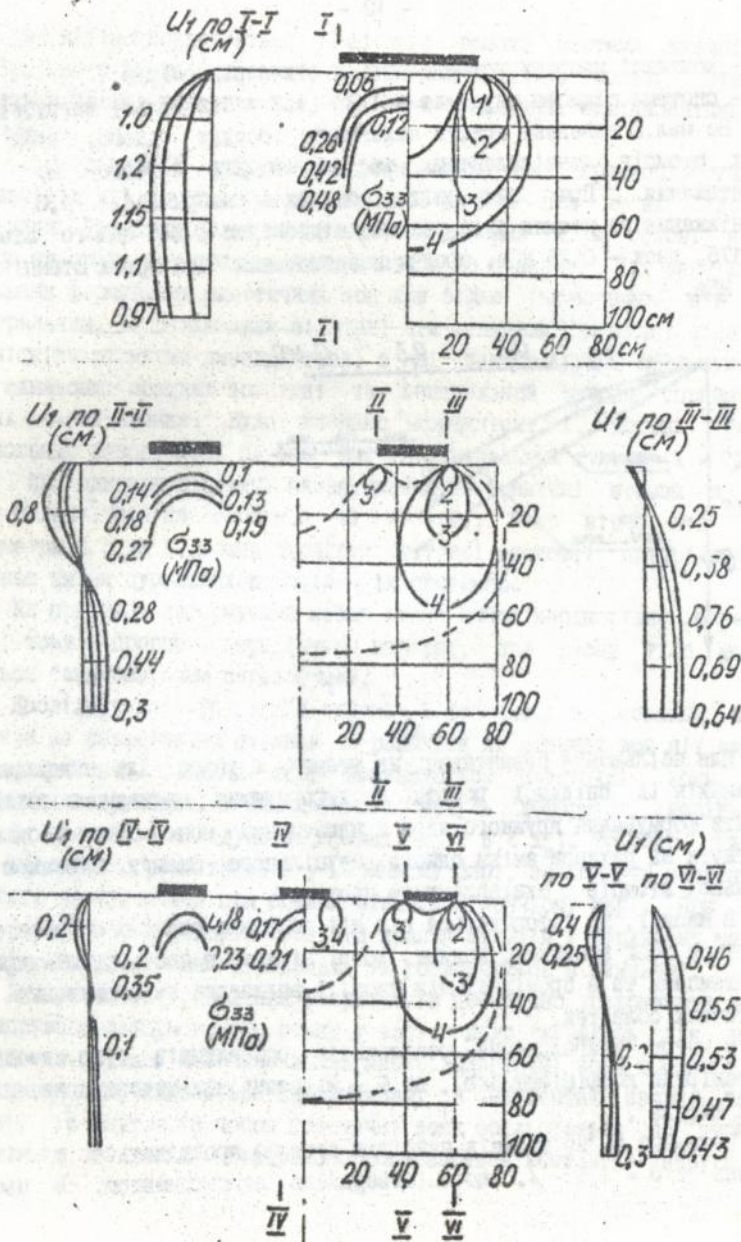
- зміна напружено-деформованого стану пружнов'язкопластичного масиву у часі.

Проведено ряд розрахунків з метою порівняння напружено-деформованого стану масиву від дії одного, двох чи трьох штампів еквівалентних за площею.

Напружено-деформований стан пружнопластичного масиву вважається описаним повністю, якщо відомі напрути, деформації та переміщення. Тому при аналізі результатів розрахунків увага приділяється саме цим показникам. Результати зведено у графіки формування пластичних зон в масиві та епюри контактних напрут та переміщень. На мал. 1 цифрами 1, 2, 3, 4 позначені лінії, що відповідають осадкам 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 см. Контактні напрути та горизонтальні переміщення показано при тих самих осадках.

Система штампів має кращі показники у порівнянні з одним. Так, при однакових осадках:

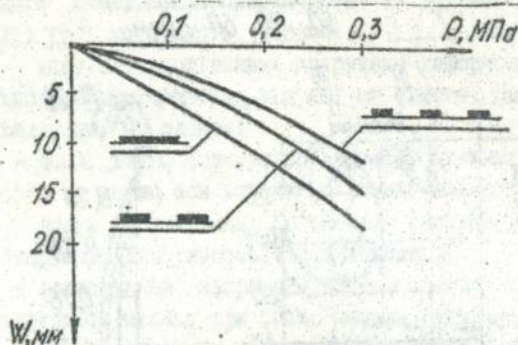
- пластичні зони зменшуються;



Мас. 1.

- контакті напруги розподіляються більш рівномірно;
- система штамів сприймає в 1,3 - 1,7 разів більшу навантажку.

На мал.2 наведено графік залежності осадки одного, двох та трьох штампів, еквівалентних за площею від діючого на них навантаження. При однакових осадках (наприклад, 1,0 см) навантаження на штампі буде різним, відповідно : для одного штампі - 0,175, двох - 0,23 МПа, середнє навантаження для трьох штампів - 0,27 МПа.



Мал. 2.

Для збільшення навантажень на штампі, а також для покращення показників їх спільної роботи з деформуємим масивом необхідно змінити формування пружного ядра й пластичних зон. Цього можливо досягнути за рахунок зміни одного осуцільного штампі системою з декількох штампів з еквівалентною площею.

В масиві, що деформується від дії действия системи штампів утворюються зони взаємного впливу, котрі містять в собі пружні ядра під штампі та в проміжках між ними, й впливають на формуванн' пластичних областей.

З метою узагальнення результатів розрахунків було введено безрозмірний коефіцієнт S/b , де S - відстань між центрами штампів, b - їх ширина.

Взаємний вплив штампів найбільш суттєво проявляється в межах значень $S/b = 1,5 - 4$, що підтверджено експериментом. В цьому

випадку якісно покращується спільна робота системи штампів і деформуємого масиву, пластичні і зони зменшуються, система штампів сприймає більші навантаження, ніж стін суцільний, еквівалентний за площею.

Досліджувався напружено-деформований стан пружнопластичного масиву від дії трьох штампів однакової ширини при зміні відстані між ними. Розвиток областей пластичних деформацій в основі крайнього та середнього штампів відбувається по різному. Під зовнішніми штампами формування пластичних зон йде більш інтенсивно, ніж під центральним. Із збільшенням відстані між штампами пластичні зони під зовнішніми штампами зменшуються, а під центральним - збільшуються. При однакових осадках зовнішні та центральні штампи сприймають різні навантаження. Було введено коефіцієнт λ , котрий дорівнює відношенню навантажень на зовнішні та центральні штампи ($\lambda = P_{\text{вн}} / P_{\text{ц}} \cdot S/b$). При однаковій осадці навантаження на зовнішні штампи в 1,5 рази більше, ніж на середній ($\lambda = 1,5$). Якщо вірно підібрати параметри S/b та λ , можна досягати суттєвої економії матеріалу за рахунок зміни суцільних штампів - їх системою.

На практиці деформуємый масив являє собою неоднорідне середовище, тому в програмі передбачено варіант, при якому тіло моделюється багаточастинним середовищем.

Досліджувались двошарові основи. З'ясовано, що товщина шару впливає на переміщення штампів та розвиток пластичних зон під ними. Із збільшенням товщини шару зменшуються пластичні зони та контактні напруження. У випадку коли модуль деформації верхнього шару E_1 менший, ніж модуль деформації E_2 ($E_1 < E_2$), то пластичні зони інтенсивно розвиваються у верхньому шарі, захоплюючи невеличкі області, що містяться під боками штампів в нижньому шарі. При $E_1 > E_2$ первісна течія відбувається під краями штампів у верхньому шарі, а потім пластичні зони переходять та розвиваються в нижньому.

Для багатьох практичних розрахунків необхідно враховувати зміну напружено-деформованого стану у часі. Досліджувалась дія двох штампів на пружнов'язкопластичний масив. Пластичні зони в основі по боках штампів розвиваються не однаково. В елементах ззовні вони більші, ніж зсередини. З часом пластичні зони збільшуються по ширині більш, ніж по глибині. Неоднаково розвиваються контактні напруження у

часті. В пружній області, под центральною частиною штампів, вони збільшуються, а в пластичній - по боках - зменшуються. Це зумовлено підвищеннями релаксації та післядії - характерних рис пружнопластичного тіла.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

1. Одержані основні диференціальні рівняння для плоскої контактної задачі розрахунку пружнопластичного та пружнов'язкопластичного масиву від дії системи штампів при малих деформаціях. Використана теорія пластичної течії з упрочненням, яка базується на принципі максимуму Мізеса та теорії в'язкопластичної течії.

2. Розроблена методика рішення одержаних рівнянь, яка базується на методі апроксимації функціоналу та методі змінних параметрів пружності.

3. По запропонованій методиці розроблені алгоритми та програми рішення пружнопластичної та пружнов'язкопластичної задачі. Вони дозволяють визначати напружено-деформований стан пружного, пружнопластичного та пружнов'язкопластичного масиву від дії системи штампів.

4. Базуючись на проведенні числових дослідженнях напружено-деформованого стану пружнов'язкопластичного масиву від дії системи штампів можна зробити такі висновки:

- для підвищення навантажень на штампи необхідно змінити формування пружного ядра й пластичних зон в масиві, що можливо лише при заміні суцільного штампів системою з кількох штампів з еквівалентною площею;

- в деформуемому масиві від дії системи штампів виникають зони взаємного впливу, в межах котрих пластичні області зменшуються, система штампів сприймає більше навантаження. Введено параметр S/b (S - відстань між центрами штампів, b - їх ширина), що визначає межі цих зон;

- при дії на деформуемий масив трьох штампів при однаковій осадці зовнішні штампи сприймають в 1,5 рази більші навантаження, ніж центральний ($\lambda = 1,5$). При вірному підборі параметрів S/b та λ можна досягти суттєвої економії матеріалу за рахунок заміни

суцільних штампів - системою;

- розвиток пластичних зон в двошаровому масиві залежить від розмірів шарів. При рівних осадках з підвищенням товщини шару пластичні зони та навантаження на штампи зменшуються (при $E_1 < E_2$);

- пластичні зони в пружнов'язкопластичному масиві з часом розвиваються по ширині, контактні напруги в пружній області збільшуються, а в пластичній - зменшуються.

5. Співставлення результатів розрахунків з дослідними даними показує, що розроблена методика визначення напружено-деформованого стану масиву від дії системи штампів повно відображає реальну картину деформування, а одержані по ній результати добре співпадають з даними експериментів.

Основні положення дисертації повністю відображені у наступних роботах :

1. Гришин В.А., Ткачук Е.Ю. Действие двух штампов на упругопластическое основание в условиях плоской деформации. -К., 1987.- 6 с.- Деп. в УкрНИИТИ, N 245-Ук-87.
2. Ткачук Е.Ю. Напряженно-деформированное состояние упругопластического основания от действия двух штампов. -К., 1987.-4 с.- Деп. в УкрНИИТИ, N 2848-Ук-87.
3. Гришин В.А., Ткачук Е.Ю. Численные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений контактных задач // Тез.докл. Республиканская научная конференция "Дифференциальные и интегральные уравнения и их приложения".- Одесса, 1987.- с. 76.
4. Ткачук Е.Ю. Напряженно-деформированное состояние упругопластического основания от действия трех штампов.- К., 1987. 3 с. Деп. в УкрНИИТИ, N 583-Ук-8.
5. Ткачук Е.Ю. Упругопластические задачи расчета прерывистых конструкций, лежащих на деформируемом основании // Резервы прочности бетонных и железобетонных конструкций.- К. УМК ВО 1989.- с. 56-60.
6. Гришин В.А., Ткачук Е.Ю. Действие системы штампов на упругопластическое основание //Тез.док. IV Всесоюзная конференция "Смешанные задачи механики деформируемого тела".- Одесса, 1989.- с. 103.

Подп. к печати 9.09.93г. Формат 60x84 1/16.
Объем 0,75уч. изд. л. 1,0п. л. Заказ № 1587 Тираж 100 экз.
Гортипография Одесского облиографиздата, дех №3.
Ленина 49.



46.3609

Ab 28.086

Ab 28.086