

УДК 624.132.3

*В.Й. Сівко, д.т.н., проф., М.П. Кузьмінець, к.т.н., докторант  
Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **ПРАКТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН ДЛЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ТРУБОПРОВІДІВ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ**

*Розглянуто основи взаємодії робочих органів землерийних машин із середовищем, що базується на оцінці його напружено-деформованого стану.*

*Ключові слова: напружено-деформований стан, ґрунт, поле деформацій.*

*Рассмотрены основы взаимодействия рабочих органов землеройных машин со средой, базирующиеся на оценке ее напряженно-деформированного состояния.*

*Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, ґрунт, поле деформаций.*

*Considered the basis of interaction of working bodies of earth-moving machines with the environment, based on an assessment of its stress-strain state.*

*Key words: stress-strain state, soil, strain field.*

**Постановка проблеми.** У будівельній галузі взаємодію із середовищем розглядають як процес дії робочих органів на призму матеріалу, що утворилась після його руйнування робочими органами машин. Ця дія обумовлена силами опору призми (нормальними і тангенціальними). Проте, як показують наші дослідження, на початковій стадії взаємодії виникають значні сили опору, що інколи перевищують значення сил, які розглядаються попередніми класичними теоріями різання ґрунтів В.П. Гарячкіна, А.М. Зеленіна, Ю.О. Ветрова та ін. Такі сили опору обумовлені виникненням напружено-деформованого стану (НДС) у ґрунтового середовищі.

Постановка задачі про напружено-деформований стан матеріалу дозволяє визначити закономірності виникнення і розповсюдження мікротріщин у матеріалі під дією спеціальних робочих органів землерийних машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів, які мають різну форму поверхні, й дає змогу знайти оптимальний характер їхньої взаємодії.

**Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Технологічні процеси руйнування та ущільнення тісно пов'язані з деформуванням, отже, у таких випадках має місце напружено-деформований стан. У загальному вигляді напружений стан матеріалу може бути описаний трьома групами рівнянь: рівноваги, сумісності деформацій та стану середовища. Для їх розв'язання найчастіше застосовують закономірність Р. Гука або знаходження функціонала Ері, однак вони розглядають задачу лише у пружній постановці. Алгоритмів розв'язку пружно-пластично-в'язких задач, яким відповідає поведінка ґрунту під навантаженням, практично немає, крім підходів Г.А. Генієва, М.І. Естріна та В.В. Соколовського.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розроблення основ взаємодії робочих органів землерийних машин із середовищем, що базується на оцінці його напружено-деформованого стану.

**Виклад основного матеріалу.** Більшість технологічних задач взаємодії робочого обладнання із середовищем може бути зведена до основних класичних задач

механіки: дія штампа, клина, кулі на пружно-пластичний простір; рух середовища в обмеженому просторі.

Розглянемо такі особливості на прикладі занурення штампа, відштовхуючись від припущень Л.О. Прандтля [1] про існування характерних зон із рівномірним напруженим станом (рис. 1). Такі припущення були зроблені для випадку штампування отворів у металі та розвинені В.В. Соколовським під час опису стану сипкого середовища.

Для оцінювання особливостей протікання таких процесів у ґрунті було виконано попередній експеримент для визначення властивостей середовища: коефіцієнта зв'язності та кута внутрішнього тертя матеріалу.

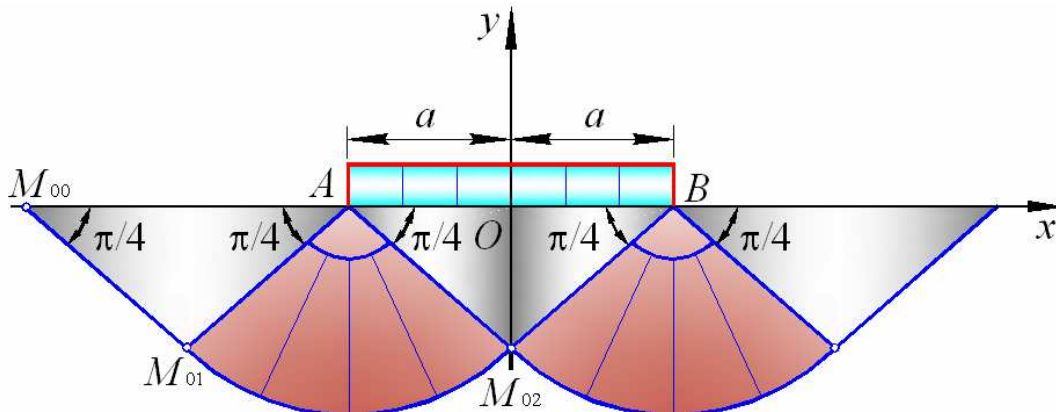


Рисунок 1 – Схема до розв'язку задачі про тиск штампа на середовище

Виходячи із симетрії задачі відносно осі  $y$ , будемо розглядати ліву частину  $x \leq 0$  півплощини. У середовищі під робочим органом існує три характерні області: прямокутні трикутники  $AM_{00}M_{01}$ ,  $AM_{02}O$  і круговий сектор  $AM_{01}M_{02}$ .

У трикутниках  $AM_{00}M_{01}$  та  $AM_{02}O$  утворюється рівномірний напружений стан, який при  $\sigma_0 = 0$  визначається так:

$$\chi = -\frac{l}{2}, \phi = -\frac{\pi}{2} \text{ та } \chi = -\frac{l}{2} \left( \frac{p}{k} - 1 \right), \phi = 0,$$

а компоненти напружень приймають вигляд

$$\sigma_x = -2k, \sigma_y = \tau_{xy} = 0 \text{ і } \sigma_x = -\rho + 2k, \sigma_y = \tau_{xy} = -\rho, \tau_{xy} = 0.$$

Сітка характеристик у кожному із цих трикутників утворена двома сімействами паралельних прямих, направлених до осі  $x$  під кутами  $\frac{\pi}{4}$ .

У круговому секторі  $AM_{01}M_{02}$  може бути використаний інтеграл С.А. Христиановича [2]

$$x = -\phi + \xi, y = x \operatorname{tg} \left( \phi - \frac{\pi}{4} \right) + \psi(\phi), \frac{\partial y}{\partial \phi} = \operatorname{tg} \left( \phi + \frac{\pi}{4} \right) \frac{\partial x}{\partial \phi}.$$

Довільна функція  $\psi(\phi) = a \operatorname{tg} \left( \phi - \frac{\pi}{4} \right)$  знаходиться з умов  $x = -a, y = 0$  в точці

$A$ . Остаточно мають місце рівності:

$$x + \phi = \xi_0, \quad \phi = \frac{\pi}{4} + \operatorname{arctg} \frac{y}{x + a},$$

а сітка характеристик складається із сімейства концентричних кіл із центром у точці  $A$  і пучка прямих, які проходять через ту ж точку.

Для того щоб при такій комбінації розв'язків  $x$  та  $y$  були безперервні в усій області  $AM_{00}M_{01}M_{02}O$ , необхідно і достатньо, аби величини  $\xi$  були постійні в кожній з областей  $AM_{02}O$  й  $AM_{01}M_{02}O$  та рівні між собою. Отже, повинні виконуватися рівності

$$-\frac{l}{2} - \frac{\pi}{2} = -\frac{\rho}{2k} + \frac{l}{2} = \xi_0.$$

Обчислення параметрів ліній характеристик  $\chi$ ,  $\phi$ ,  $x$ ,  $y$  виконується за рекурентними різницевиими формулами:

$$2\chi_{k,l} = \xi_k + \eta_e, \quad 2\phi_{k,l} = \xi_k - \eta_e;$$

$$x_{ke} = \frac{y_{k-1,l} - y_{k,l-1} + x_{k,l-1} \operatorname{tg} \left( \phi_{k,l-1} + \frac{\pi}{4} \right) - x_{k-1,l} \operatorname{tg} \left( \phi_{k-1,l} - \frac{\pi}{4} \right)}{\operatorname{tg} \left( \phi_{k,l-1} + \frac{\pi}{4} \right) - \operatorname{tg} \left( \phi_{k-1,l} - \frac{\pi}{4} \right)};$$

$$y_{k,l} = y_{k-1,l} + (x_{k,l} - x_{k-1,l}) \operatorname{tg} \left( \phi_{k-1,l} - \frac{\pi}{4} \right),$$

а визначення величин  $x$ ,  $y$  – по діагоналі за формулами:

$$\chi_{st} = \eta_t, \quad y_{s,t} = y_{s-1,t} - x_{s-1,t} \operatorname{tg} \left( \phi_{s-1,t} - \frac{\pi}{4} \right).$$

Нормальні компоненти напруження вздовж осі  $u$  визначаються виразами

$$\sigma_x = -\rho + k(2\chi + l); \quad \sigma_y = -\rho + k(2\chi - l).$$

На рис. 2 за координатами у вузлових точках уперше для ґрунтів побудована сітка характеристик полів деформацій та напружень.

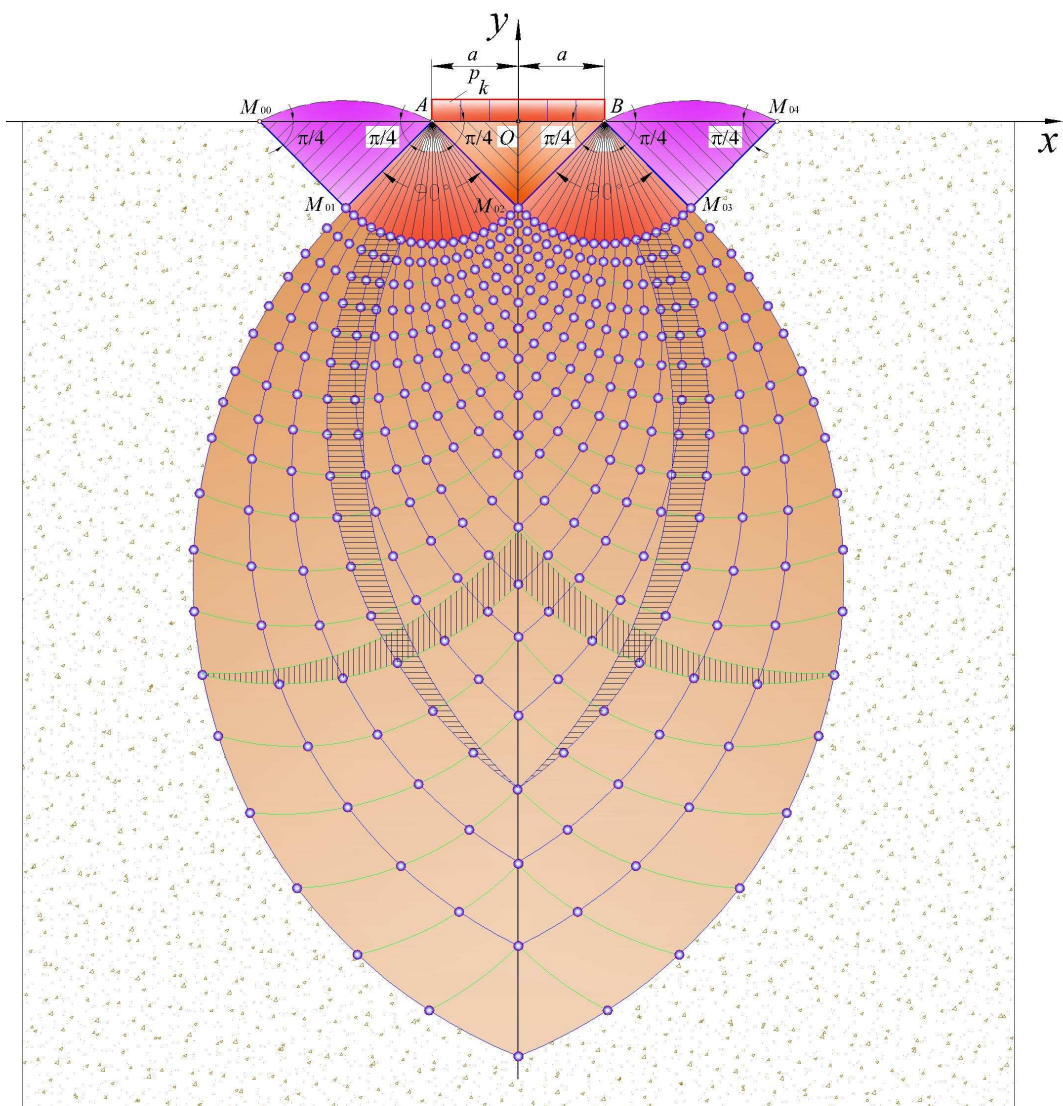


Рисунок 2 – Поле деформацій і напружень під дією штампа в ґрунті

**Висновки.** Розроблено підходи до створення єдиної теорії руйнування та ущільнення під час взаємодії робочих органів землерийних машин із середовищем, що базується на оцінці НДС середовища та встановленні зони його руйнування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 1. Прандтль Л.О. О твердости пластических материалов и сопротивлении резанию / Л.О. Прандтль // Сборник «Теория пластичности» под ред. Ю.А. Роботного. – М. Гос. изд. иностранной литературы, 1948. – С. 18 – 22.
2. 2. Христианович С.А. Плоская задача математической теории пластичности при внешних силах, заданных на замкнутом контуре / С.А. Христианович // Мат. сборник, новая серия, Т.1, вып. 4. – М., 1938. –С. 27 – 49.
3. 3. Прочность. Устойчивость. Колебания: справочник. – М.: Машиностроение, 1968. Т. 1. – М., 1968. – 831 с.

Надійшла до редакції 10.03.2010 р.  
© В.Й. Сівко, М.П. Кузьмінець