

М. Я. Довжик, к.т.н., доцент,

Б. Я. Татьянченко, к.т.н., доцент,

О. О. Соларьов, аспірант.

Сумський національний аграрний університет

Стаття присвячена питанню розроблення графічного і аналітичного методу побудови лінії ковзання від стрічкового рівномірно розподіленого навантаження в ґрунті на основі використання напрямків головних напружень.

Ключові слова: рівномірно розподілене навантаження, напружено-деформований стан ґрунту, лінії ковзання.

Постановка проблеми. При проектуванні стрічкових фундаментів виникає необхідність дослідження напружено-деформованого стану ґрунту з метою попередження недопустимого його просідання і випучування на поверхні з боків смуги. З аналогічним випадком зустрічаємося при вивченні поведінки ґрунту під колесами або гусеницями працюючих на полях тракторів, автомобілів, комбайнів. Як відомо, надмірне ущільнення

ґрунту негативно впливає на ріст і врожайність сільськогосподарських культур [3, с. 5...16].

Основна частина. У всіх випадках розрахункова модель представляється у вигляді нескінченно довгої смуги шириною $2a$ (рис. 1), що несе рівномірно розподілене навантаження інтенсивності q . Напруження в довільній точці M (рис.1) можна визначити з виразів [1]:

$$s_x = \frac{q}{p} \left[\arcsin \frac{y-a}{\sqrt{x^2+(y-a)^2}} - \arcsin \frac{y+a}{\sqrt{x^2+(y+a)^2}} + \frac{x(x-a)}{x^2+(y-a)^2} - \frac{x(x+a)}{x^2+(y+a)^2} \right]; \quad (1)$$

$$s_y = \frac{q}{p} \left[\arcsin \frac{y-a}{\sqrt{x^2+(y-a)^2}} - \arcsin \frac{y+a}{\sqrt{x^2+(y+a)^2}} - \frac{x(x-a)}{x^2+(y-a)^2} + \frac{x(x+a)}{x^2+(y+a)^2} \right]; \quad (2)$$

$$t_{xy} = \frac{q}{p} \left[\frac{(y-a)^2}{x^2+(y-a)^2} - \frac{(y+a)^2}{x^2+(y+a)^2} \right]. \quad (3)$$

Вісь Oz на рис.1 орієнтована перпендикулярно площині креслення, уздовж смуги. Після досягнення навантаженням q деякого значення під штампом розвиваються пластичні зони - області текучості ґрунту. Умови переходу в пластичний

стан визначаються умовами пластичності. З двох умов пластичності, що знайшли застосування в інженерній практиці, краще підтверджується експериментами теорія Губера-Мізеса-Генки [4, с. 221].

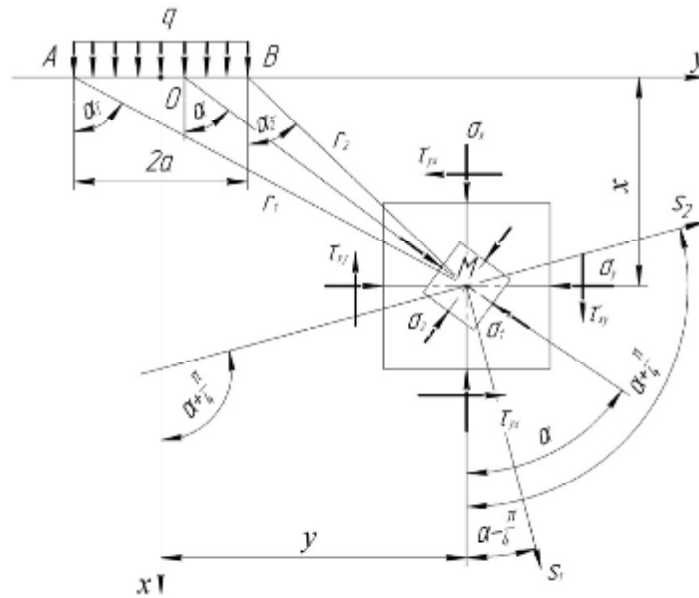


Рис. 1. До визначення напрямків ліній ковзання.

Для нашого випадку умова переходу в пластичний стан буде:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2} + 6\tau_{xy}^2 = \sigma_T, \quad (4)$$

де σ_T - межа текучості ґрунту. Виражаючи через розмір a координати x і y в наведених вище формулах для напружень і скорочуючи останнє рівняння на q , одержимо умову пластичності, в якій ліва частина являє собою безрозмірний параметр, що має одне і теж значення в кожній конкретній точці при будь-якій інтенсивності зовнішнього навантаження q , а права частина рівняння дорівнює відношенню σ_T/q . Очевидно, що перехід ґрунту в пластичний стан в даній точці настане у випадку, коли безрозмірний параметр в лівій частині умови пластичності буде рівний або більше цього відношення. Найбільше значення безрозмірний параметр має в точках A і B з координатами $x = 0, y = \pm a$ і в точці $(x = a, y = 0)$. Для ґрунтів з пружними постійними $\mu = 0,35$ і $E = 10 \text{ МПа}$, в цих точках він дорівнює $0,428$.

З рис.2 видно, як поширюється пластична зона в масиві ґрунту зі зменшенням σ_T/q , тобто з ростом навантаження q . Очевидна тенденція розвитку пластичної зони в напрямку ліній ковзання (ліній Чернова-Людерса), які утворюють кут $\pi/4$ з поверхнею ґрунту в точках на межі півпростору (рис. 2а, б). Під колесами автомобіля $МАЗ-500А$ ($q = 0,35 \text{ МПа}$) [3, с. 57] при $\sigma_T = 0,113 \text{ МПа}$ для суглинних ґрунтів зона пластичності поширюється як в глибину, так і в ширину масиву (рис. 2г). Нарешті, висновок, що має практичне значення: як впливає з рис. 2, при $\sigma_T/q \leq 0,428$ пластичні зрушення в ґрунті відсутні зовсім, незалежно від виду ґрунту і незалежно від того, які машини з перерахованих в [1, с. 54...58] працюють на полях. Керуючись цією нормою і знаючи σ_T для конкретного ґрунту, можна вибирати необхідне значення q і відповідну техніку, яка не залишить на землі відчутні рани.

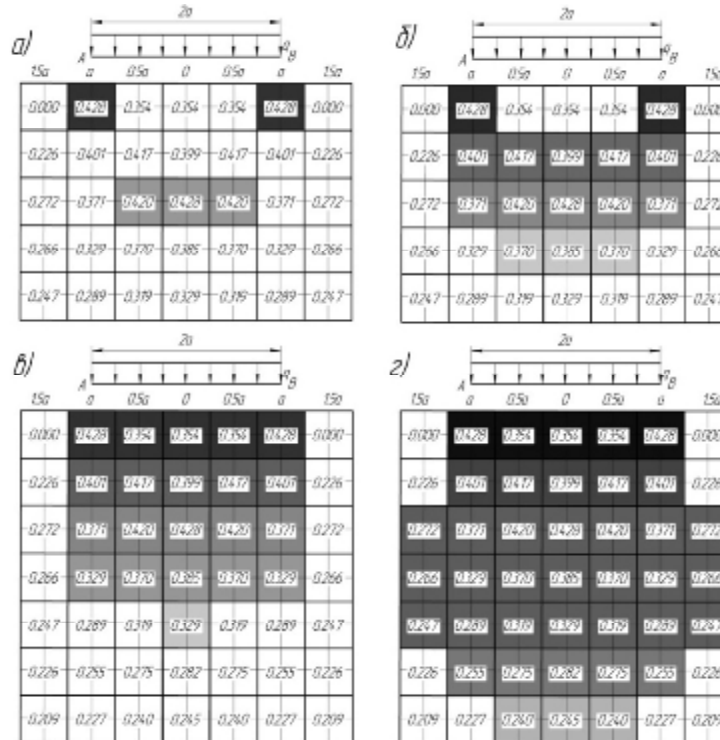


Рис. 2. Пластичні зони в ґрунті під різним навантаженням.

Маючи матрицю напружень у півплощині xOy , можна обчислити головні напруження, а також їх напрямки. На рис. 1 вектори всіх напружень, окрім τ_{yx} , зображені позитивними. Кут α , що визначає напрямки більшого за модулем головного напруження знайдемо за відомою формулою:

$$tg 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = 2 \frac{\sin^2 \alpha_2 - \sin^2 \alpha_1}{\sin^2 2\alpha_2 - \sin^2 2\alpha_1} = - \frac{\cos^2 2\alpha_2 - \cos^2 2\alpha_1}{\sin^2 2\alpha_2 - \sin^2 2\alpha_1} = tg(\alpha_1 + \alpha_2), \quad \text{звідки } \alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (5)$$

Це означає, що напрямки більшого за модулем головного напруження є бісектрисою кута AMB . Кут між віссю Ox і другим головним напруженням визначаємо як $\alpha \pm 0,5\pi$.

Тепер можна побудувати, не обчислюючи головні напруження, лінії ковзання, за якими розвиваються пластичні деформації як процес ковзання ґрунту по поверхнях найбільших дотичних напружень. Як відомо, максимальні дотичні напруження $\tau_{max} = 0,5(\sigma_1 - \sigma_2)$ діють на площадках

під кутом $\pi/4$ до головних напружень. Згідно рис. 1 в деякій точці M лінії ковзання дають напрямки MS_1 і MS_2 , причому напрямок MS_1 утворює з віссю Ox кут $\alpha + \pi/4$, а промінь MS_2 - кут $\alpha - \pi/4$. Мережа ліній ковзання утворюється двома ортогональними між собою сімействами ліній, які не завжди прямі.

На підставі вищевикладеного можна скористатися наступним способом побудови ліній ковзання. Спочатку побудуємо мережу ліній головних напружень. Для цього довільну точку 1 напівплощини з'єднуємо з точками A і B (рис. 3а) і, розділивши кут AMB навпіл, отримуємо напрямки σ_1 і σ_2 . Відклавши з точки 1 відрізок 1-2, аналогічно знаходимо напрямки σ_1 і σ_2 в точці 2. Побудову

ліній головних напружень σ_1 і σ_2 можна починати з будь-якої точки півпростору, але краще в якості вихідних вибрати точки на осях Ox і Oy , в яких головні напруження σ_1 і σ_2 до них перпендикулярні (рис. 3б). Лінії максимальних напружень не еквідистантні між собою, внаслідок чого утворюють не зовсім точні квадрати, послідовним з'єднанням діагоналей яких отримуємо сімейство ліній ковзання s_1 і s_2 . Точність побудови в даному випадку залежить від густоти мережі ліній σ_1 і σ_2 . Однак побудову можна спростити і зробити точнішою, якщо, визначивши напрямки σ_1 і σ_2 , наприклад, в точці 1, як показано на рис. 3а, відкласти від нього кути $\pm\pi/4$ і відразу отримати лінії s_1 і s_2 в даній точці (рис. 3в).

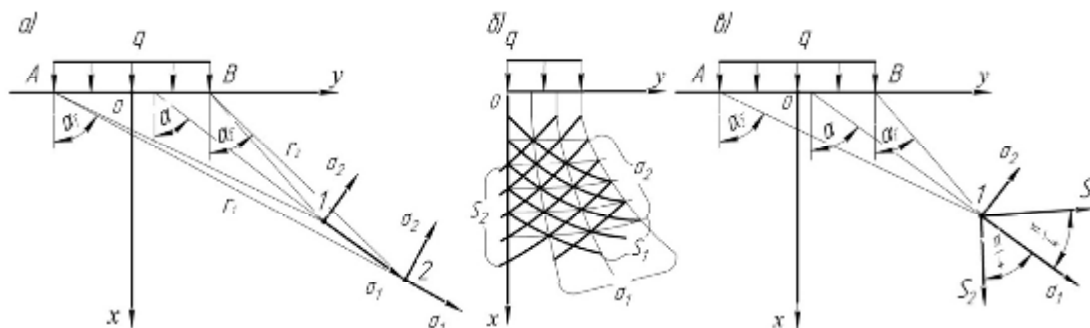


Рис. 3. Способи побудови ліній ковзання.

Точність графічного рішення завжди відносна. З метою аналітичного рішення запишемо вираз для $tg2\alpha$ в декартових координатах, підставивши в нього вирази для σ_x , σ_y і τ_{xy} і зробивши підстановки: $y - a = u$; $y + a = m$. В результаті отримаємо:

$$tg2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{x(m+n)}{x^2 - mn} = \frac{2xy}{x^2 - y^2 + a^2}. \quad (6)$$

Користуючись цією формулою, можна будувати як лінії найбільших тисків, так і лінії ковзання, визначивши напрямок σ_1 в будь-якій точці пів-

простору, і відклавши від нього кути $\pm\pi/4$, отримати напрямки s_1 і s_2 . Такі побудови виконані на рис. 4. Координати x і y в останній формулі слід виражати через розмір a . Хоча вимір координат проводиться графічно, проте точність побудов цим способом повинна бути значно вище, ніж способом обгинання діагоналей неточних квадратів, утворених мережею ліній найбільших напружень σ_1 і σ_2 .

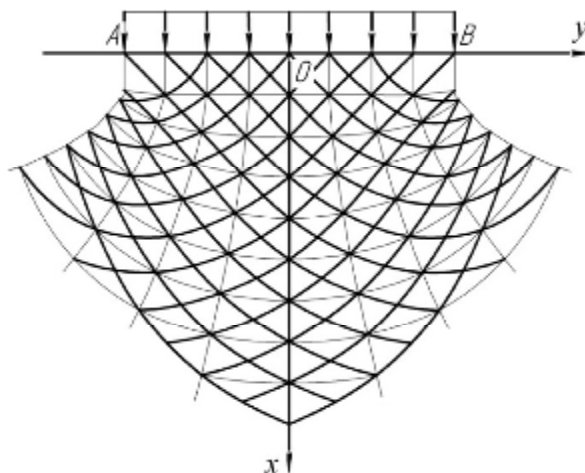


Рис. 4. Лінії ковзання в ґрунті під слідом транспортного колеса.

У осьовому перетині сліду, в площині xOz діють головні напруження $\sigma_1 = \sigma_x$ і $\sigma_2 = \sigma_z$, при-

чому головні площадки паралельні і перпендикулярні до осі Oz. Це означає, що всі лінії ковзання тут нахилені під кутом $\pi/4$ до осі Oz і являють собою дві системи паралельних прямих, що перетинаються між собою під прямим кутом. У зв'язку з цим зрушення в поздовжньому напрямку відсутні зовсім, тому що вони взаємно зрівноважені цими двома системами ліній ковзання.

Насправді, при коченні колеса по поверхні

ґрунту попереду виникає хвиля деформацій, що супроводжується зрушеннями шарів, яка потім застигає в статичній рівновазі, яка і розглянута в даній роботі.

Висновки. Розроблені графічний і аналітичний методи побудови ліній ковзання в ґрунті від стрічкового рівномірно розподіленого навантаження на основі використання напрямків головних напружень.

Список використаної літератури:

1. Довжик М.Я. Напружено - деформований стан ґрунту під слідом колеса транспортного засобу / М.Я. Довжик, Б.Я. Татяниченко, О.О.Соларьов // Матеріали міжнар. науково - пакт. конф. [«Науково-технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві»], (Мінськ, 28-30 листопада, 2013 р.) / М-во сільського господарства і продовольства республіки Білорусь, Білоруський державний аграрний технічний університет. - Мінськ, 2013. - С. 57-62.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / [Зоценко М.Л., Коваленко В.І. та ін.]; за ред. М.Л. Зоценко. - Полтава: ПНТУ, 2003. - 554 с.
3. Кравченко В.І. Ущільнення ґрунтів машинами / В.І. Кравченко. - Алма-Ата : «Наука», 1986. – 96 с.
4. Самусь В.І. Основи теорії пружності і пластичності / В.І. Самусь. - М.: «Вища школа», 1982. – 264 с.
5. Терегулов І.Г. Опір матеріалів і основи теорії пружності та пластичності / І.Г.Терегулов. - М.: «Вища школа», 1984. - 472 с.

Довжик М.Я., Татяниченко Б.Я., Соларьов А.А. ЛИНИИ ЧЕРНОВА-ЛЮДЕРСА В ПОЧВЕ ОТ ЛЕНТОЧНОЙ НАГРУЗКИ

Стаття посвящена вопросу разработки графического и аналитического метода построения линий скольжения от ленточной равномерно распределенной нагрузки в почве на основе использования направленных главных напряжений.

Ключевые слова: равномерно распределенная нагрузка, напряженно-деформированное состояние почвы, линии скольжения.

Dovzhyk M.J., Tatyanchenko B.J., Solarov O.O. CHERNOFF-LINE LYUDERSA IN SOILS FROM TAPE LOAD

The article focuses on the development of graphical and analytical method for constructing slip lines from the tape evenly distributed load in the soil through the use of principal stress directions.

Key words: uniformly distributed load, the stress-strain state of the soil, a slip line.

Стаття надійшла в редакцію : 01.10.2013 р.

Рецензент: д.т.н., професор Павлюченко А.М.

УДК 621.65

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУМІЩЕНИХ ОПОРНО-УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

С. О. Горовий, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Гідродинамічні сили в шпаринних ущільненнях відцентрових насосів відіграють провідну роль в стабілізації вібраційної активності роторів насосів. Це дає можливість по-новому оцінити роль безконтактних ущільнень протічної частини – як опорно-ущільнювальних вузлів відцентрового насоса. Ротор насоса самодовільно орієнтується в симетричних шпаринних ущільненнях під дією гідродинамічних сил та моментів. Запропонована методика розрахунку реалізує новий проектний підхід до створення протічної частини відцентрового насосу зі шпаринними опорами-ущільненнями.

Ключові слова: відцентровий насос, шпаринне ущільнення, опора-ущільнення, виток рідини, тиск рідини, напор рідини, гідродинамічні сили, моменти гідродинамічних сил, самовпорядкований ротор.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Різні типи відцентрових насосних агрегатів широко використовуються в різних технологічних процесах промисловості, сільського господарств-

ва, енергетики, тощо. З підвищенням гідравлічних параметрів насосів виникає потреба у зростанні частот обертання роторів, при цьому гідроенергонасичена система «ротор-ущільнення» створює