

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ В ГРУНТЕ ПОД КОЛЕСОМ ТРАКТОРА

Михаил Довжик, Борис Татьянченко, Александр Соларёв

Сумской национальный аграрный университет

Украина, г. Сумы, ул. Герасима Кондратьева, 160

Mihail Dovzhik, Boris Tatyanchenko, Aleksandr Solarov

Sumy national agrarian university

Str. Gerasima Kondratyeva 160, Sumy, Ukraine

Аннотация. В статье представлена проблема чрезмерного переуплотнения почвы движителями техники. В ходе решения этой задачи было рассчитано и построено линии постоянного давления в грунте под следом колеса трактора. Что дает возможность более детально понять процесс уплотнения.

Ключевые слова: уплотнение почвы, линии постоянного давления в грунте, распределение нагрузки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Как известно, при деформации упругого тела изменяется его объем и форма. В соответствии с этим тензор напряжений T_σ представляет собой алгебраическую сумму двух тензоров – окружного тензора T_σ^0 и девиатора напряжений D_σ , которые в рассматриваемом случае имеют вид:

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{vmatrix} +$$

Здесь первое слагаемое (сферический тензор) представляет собой ту часть напряженного состояния, которая связана с изменением объема. Именно изменение объема грунта вызывает изменение его плотности. Девиатор напряжений характеризует переход от упругого состояния к пластичному.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование методик построения линий постоянного давления в грунте под колесом трактора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Относительное изменение объема пропорционально среднему нормальному (гидростатическому) напряжению:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z).$$

Используя выражения для σ_x и σ_y согласно [7, с. 98]:

$$\sigma_x = \frac{q}{2\pi} [2(\theta_2 - \theta_1) + \sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1],$$

$$\sigma_y = \frac{q}{2\pi} [2(\theta_2 - \theta_1) + \sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1],$$

и определив σ_z из условия, что:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] = 0,$$

получим:

$$\sigma_m = \frac{2q(1+\mu)}{3\pi(\theta_2 - \theta_1)},$$

откуда получаем зависимость между углами θ_1 и θ_2 для произвольной точки K (рис.1):

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{3\pi}{2(1+\mu)} \left(\frac{\sigma_m}{q} \right).$$

Пользуясь этой зависимостью, можно построить линии постоянного давления (изобарические уровни) в грунте для различных отношений $\frac{\sigma_m}{q}$.

Если интенсивность q в исходных уравнениях взять по модулю, то, учитывая, что среднее напряжение σ_m отрицательное, это уравнение даст значения углов θ_1 и θ_2 в принятой правой системе координат xOy с точностью до знака [2].

На рис. 2 представлены кривые постоянного давления для различных отношений $\frac{\sigma_m}{q}$, при $\mu = 0,25$. Очевидно, что

максимальное по модулю значение $\frac{\sigma_m}{q}$ в этом случае соответствует углам $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$; $\theta_2 = -\frac{\pi}{2}$ и равно

$$\leq \theta_1 \leq 0,5\pi.$$

Следовательно: 0,24

Функции кривых постоянного давления можно получить также в полярных координатах $r\theta$.

Используя очевидные соотношения (рис.1):

$$r_1 \sin \theta_1 = y + a; \quad r_2 \sin \theta_2 = y - a;$$

$$r \sin \theta = y,$$

находим:

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \xi_1 = \frac{r \sin \theta + 1}{r \sin \theta};$$

Тогда среднее нормальное давление:

$$\sigma_m = \frac{2q(1+\mu)}{3\pi} \cdot (\operatorname{arctg} \xi_2 - \operatorname{arctg} \xi_1) = \frac{2q(1+\mu)}{3\pi} \operatorname{arctg}$$

где $k = \frac{r}{a}$ – относительный радиус-вектор точки.

Отсюда имеем:

$$\operatorname{arctg} \frac{-2k \cos \theta}{k^2 - 1} = \frac{3\pi}{2(1+\mu)} \cdot \left(\frac{\sigma_m}{q} \right) \quad \text{или}$$

$$\operatorname{tg} \left(A \frac{\sigma_m}{q} \right) = \frac{-2k \cos \theta}{k^2 - 1}, \quad \text{где } A = \frac{3\pi}{2(1+\mu)}.$$

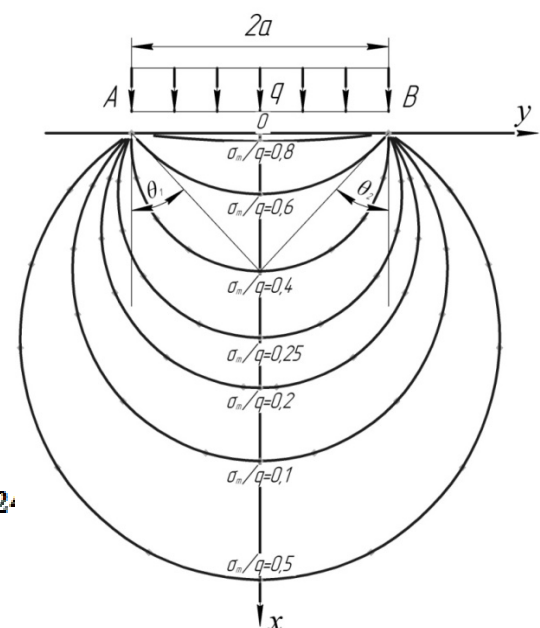


Рис. 2. Уровни постоянного давления в грунте

, а соответствующая линия постоянного давления будет представлена отрезком OB .

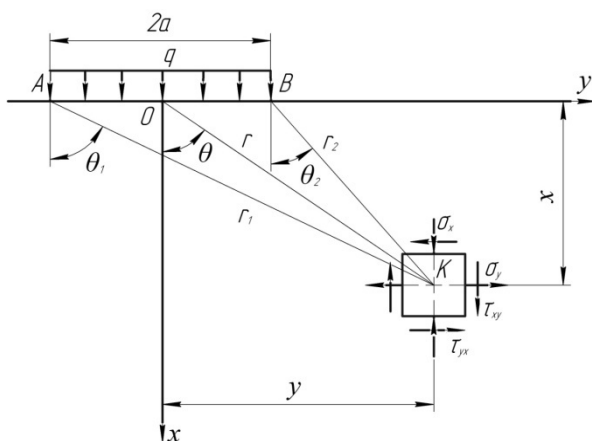


Рис. 1. К определению угловых координат θ_1 и θ_2

Fig. 1. The definition of angular coordinates θ_1 and θ_2

Построение линий постоянного давления в координатах θ_1 и θ_2 связано с установлением пределов изменения этих $\frac{\sigma_m}{q}$

углов для каждого отношения $\frac{\sigma_m}{q}$. Для точек вне первой четверти системы координат xOy полученная зависимость может давать случайные значения, поэтому лучше начинать построение кривой для каждого $\frac{\sigma_m}{q}$

отношения $\frac{\sigma_m}{q}$ с точки, лежащей на оси Ox , для которой углы θ_1 и θ_2 по модулю равны.

$$\frac{\sigma_m}{q} = 0.4$$

Например, при $\frac{\sigma_m}{q}$ имеем:

$$\theta_1 = |\theta_2| = \frac{3\pi}{4(1+\mu)} \cdot \frac{\sigma_m}{q} = \frac{3\pi}{4(1+0,25)} \cdot 0,4 = 0,2,$$

Fig. 2. The levels of constant pressure in the soil

Поскольку напряжение σ_m отрицательное, знак «минус» в правой части уравнения следует опустить. Тогда решение полученного квадратного уравнения даст искомый результат:

$$k = \frac{r}{a} = \frac{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta + \operatorname{tg}^2\left(A \frac{\sigma_m}{q}\right)}}{\operatorname{tg}\left(A \frac{\sigma_m}{q}\right)},$$

где $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$.

Построенные на рис. 2 линии постоянного давления являются универсальными кривыми, пригодными для любых значений параметра a и интенсивности q . Линейные размеры здесь определяются масштабом отрезка AB .

Использованный выше переход от разности $\arctg\xi_2 - \arctg\xi_1$ к $\arctg \frac{\xi_2 - \xi_1}{1 + \xi_1\xi_2}$ справедлив при $\xi_1\xi_2 > -1$ для любых значений координат x и y . Если $\xi_1\xi_2 < -1$ при положительных значениях абсциссы x следует

$$\arctg\xi_2 - \arctg\xi_1 = \pi + \arctg \frac{\xi_2 - \xi_1}{1 + \xi_1\xi_2}.$$

В этом случае в уравнении для k вместо $\operatorname{tg}\left(A \frac{\sigma_m}{q}\right)$ следует подставить $\operatorname{tg}\left(\pi - A \frac{\sigma_m}{q}\right)$.

ВЫВОД

Графики на рис. 2 можно обобщить таким образом, чтобы их можно было использовать при любых значениях коэффициента Пуассона μ , т.е. практически для любых грунтов. Как известно, коэффициент μ для грунта может иметь значения от 0 до 0,5. Тогда для каждого отношения можно

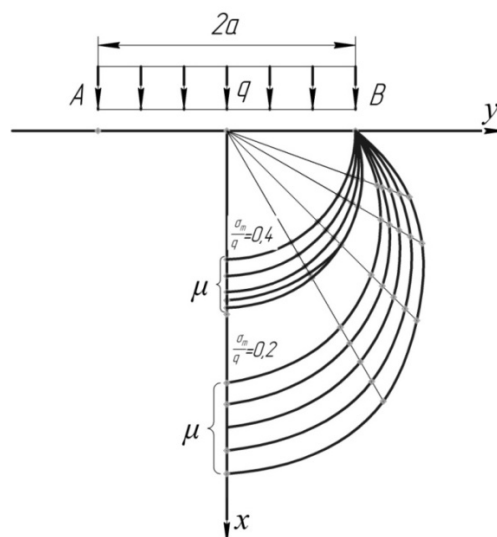


Рис. 3. Обобщенные кривые постоянного

давления для $\frac{\sigma_m}{q} = 0,4$ и $\frac{\sigma_m}{q} = 0,2$

Fig. 3. Generalized curves for constant pressure

for $\frac{\sigma_m}{q} = 0,4$ and $\frac{\sigma_m}{q} = 0,2$

построить семейство кривых постоянного давления. На рис. 3. представлены такие кривые для отношения $\frac{\sigma_m}{q} = 0,4$ значений μ , равных 0; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Amel'kin V. V. 1987: Differencial'nye uravnenija v prilozhenij / V. V. Amel'kin. – M.: Nauka. – 160.
2. Antoshchenkov R. 2013: Teoreticheskoe issledovanie dinamicheskoy modeli koliosnogo traktora klassa 30 KH. / R. Antoshchenkov // Commission motorization and energetic in agriculture. Lublin. – Vol. 15. – No 7. – 170-175.
3. Vinarskij M.S. 1975: Planirovanie jeksperimenta v tehnologicheskijh issledovanijah / M.S. Vinarskij, M.V. Lur'e. – Kiev: «Tehnika». – 168.
4. Voznesenskij V.A. 1981. Statisticheskie metody planirovanija jeksperimenta v tehnikojekonomicheskijh issledovanijah / V.A. Voznesenskij. – Moskva: Finansy i statistika. – 264.

5. Gjachev L. V. 1981: Ustojchivost' dvizheniya sel'skoho-zhajstvennykh mashin i agregatov / L. V. Gjachev. – Moskva: Mashinostroenie. – 206.
6. Dashhenko O. F. 2003: MATLAB v inzhenernih ta naukovih rozrahunkah. Monografija / O. F. Dashhenko, V. H. Kirillov, L. V. Kolomic', V. F. Orobej. – Odesa: Astroprint. – 214.
7. Dovzhik M.J. 2013: Naprigonno-deformirovannoe sostoyanie grunta pod sledom kolesa traktora / M.J. Dovzhik, B.J. Tat'yanchenko, A.A. Solarov // Nauchno-tehnicheskii progress v sel'skohozyaistvennom proizvodstve: materialyi Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy vedushchim ucheniyim BGATU, sozdatelyam nauchnoy shkoly po avtotraktorostroeniyu D. A. Chudakovu, V. A. Skorotnikovu, (Minsk, 28-30 noyabrya 2013 g.) / Ministerstvo selskogo hozyaystva i prodovolstviya respubliki Belarus, Belorusskiy gosudarstvenniy agrarniy tehnicheskiy universitet. – Minsk : BGATU. – 54-57.
8. Dovzhik M.J. 2014: Raschet uplotneniya grunta pod kolesami transportnykh sredstv s pomoschyu programmnoho obespecheniya MS Office / M.J. Dovzhik, B.J. Tatyanchenko, A.A. Solarev // Motrol. – Vyp. 16. – 131-133.
9. Zavgorodnij A. I. 2012: Dvizhenie shara v vozdušnom potoke mezhdru vibrirujushchimi ploskostjami / A. I. Zavgorodnij, O. V. Sinjaeva // Vibracii v tehnike i tehnologijah: Vseukrainskij nauchnotehnicheskij zhurnal. – Har'kov: HNTUSH. – Vyp. 3 (67). – 20-27.
10. Zegdenidze I. G. 1976: Planirovanie jeksperimenta dlja issledovanija mnogokomponentnykh system / I. G. Zegdenidze. – M.: Izdatel'stvo «Nauka». – 390.
11. Zotsenko M.L. 2003: Inzhenernageologiya. Mehanika gruntiv, osnovi ta fundamenti : pidruchnik / Zotsenko M.L., Kovalenko V.I. [ta in.]; za red. M.L. Zotsenko. – Poltava: PNTU. – 554.
12. Zhuravskij A.A. 2000: Avtomaticheskoe postroenie matematicheskoy modeli funkcionirovanija ob'ekta / A.A. Zhuravskij, J. E. Torjanik, I.G. Kryshen' // Koks i himija. – Vyp. 3. – 22-28.
13. Kravchenko V.I. 1986: Uplotneniye pochv mashinami / V.I. Kravchenko. – Alma-Ata: «Nauka». – 96.
14. Lebedev A.T. 2009: Matematichna model' ruhu kombinovanogo posivnogo agregatu v skladi traktora HTZ-150K-09 ta sival'ki prjamoj sivbi APP-6 pri prjamolinijnomu rusi pershoy pivrami traktora / A.T. Lebedev, R.V. Antoshhenkov // Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu. – Melitopol': TDAU. – Vyp. 9, t. 1. – 151-157.
15. Legecuis T. 1985: On the ehtension of the gratzmuller critical velocity for locked steering road vehicle to the case of piloted vehicles / T. Legecuis, P. Bourassa, A. Laneville // Vehicle system dynamics. – Vyp. 14. – 615-622.
16. Samus' V.I. 1982: Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti / V.I. Samus'. – M.: «Vysshaya shkola». – 264.
17. Sinyaeva O. 2013: K voprosu planirovaniya eksperementa na baze prikladnogo paketa Excel / O. Sinyaeva, A. Zavgorodnij, A. Obyhlost' // Commission motorization and energetic in agriculture. – Lublin. – Vyp. 15. – No 7. – 199-204.
18. Stepanenko S. 2012: Osobennosti modelirovanija processov separacii zerna v uslovijah zernotoka hozhajstva / S. Stepanenko // Motrol, Motoryzacija i energetyka rol'nictva. – Lublin. – Vyp. 3, t. 14. – 148–157.
19. Teregulov I.G. 1984: Soprotivlenie materialov i osnovyi teorii uprugosti i plastichnosti / I.G. Teregulov. – M.: «Vysshaya shkola». – 472.
20. Tishhenko L.N. 2005: Issledovanie dinamiki vozdušnogo potoka v modernizirovannoj pyleosadochnoj kamere vibrocentrovezhnykh zernovykh separatorov / L.N. Tishhenko, S.A. Harchenko // Vibracii v tehnike i tehnologijah. – Vyp. 1(43). – 126 -137.

TWO WAYS OF CONSTRUCTING LINES OF THE CONSTANT PRESSURE IN THE SOIL UNDER THE WHEELS OF THE TRACTOR

Abstract. The article presents the problem of excessive soil compaction propulsion technology. During the solution of this problem it has been calculated and constructed lines of the constant pressure in the soil under the

wheels of the tractor. It enables a more detailed understanding of the compaction process.

Keywords: soil compaction, the lines of the constant pressure in the soil, the distribution of the load.