

УДК 631.316.22

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА НАХИЛУ БІЧНИХ СТІНОК ПРОРІЗУ ДО ГОРИЗОНТУ**С.В. Кравець, проф., д.т.н., О.В. Стінко, асп., Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне**

Анотація. Надано аналітичне виведення математичної моделі для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту. Також наведено номограму для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту залежно від кута внутрішнього тертя та коефіцієнта зчеплення ґрунту.

Ключові слова: кут нахилу бічних стінок прорізу, коефіцієнт зчеплення ґрунту, ґрунт, кут внутрішнього тертя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА БОКОВЫХ СТЕНОК ПРОРЕЗИ К ГОРИЗОНТУ**С.В. Кравец, проф., д.т.н., О.В. Стинько, асп., Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно**

Аннотация. Представлен аналитический вывод математической модели для определения угла наклона боковых стенок прорези к горизонту. Также представлена номограмма для определения угла наклона боковых стенок прорези к горизонту в зависимости от угла внутреннего трения и коэффициента сцепления ґрунта.

Ключевые слова: угол наклона боковых стенок прорези, коэффициент сцепления ґрунта, ґрунт, угол внутреннего трения.

DETERMINING THE ANGLE OF THE SLIT-WALL INCLINATION TO THE HORIZON**S. Kravets, Prof., Dr., Eng. Sc., O. Stinko, postgraduate,
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne**

Abstract. The paper presents the analytical derivation of a mathematical model for determining the angle of the slit-wall inclination to the horizon. A nomogram of the slit-wall inclination to the horizon depending on the angle of internal friction and the coefficient of soil adhesion has been presented.

Key words: inclination angle of slit walls, coefficient of soil adhesion, angle of internal friction.

Вступ

Однією з основних вимог при створенні землерийних робочих органів для глибокого руйнування ґрунтів є принцип незалежності роботи землерийних робочих органів (ЗРО) [5]. Тому при проектуванні багаторушних ЗРО, при їх рознесенні у горизонтальній площині необхідно знати кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту γ (рис. 1), що задає межі розпушувальної дії робочого органа.

Незалежна робота ЗРО (рис. 1, б) полягає у відсутності взаємовпливу робочих органів при їх рознесенні у горизонтальній площині. Тобто кожен робочий орган руйнує ґрунт в умовах блокованого різання ґрунту, тому сумарна сила різання дорівнює подвійній силі різання одного робочого органа за тієї самої глибини і ширини різання. Дана умова виконується, коли відстань між робочими органами T є більшою або дорівнює сумі півширин прорізів. За зменшення цієї відстані

(рис. 1, а) робочі органи взаємно впливають на процес руйнування ґрунту, відбувається запресування ґрунту між робочими органами, збільшується енергоємність робочого процесу і зменшується продуктивність розпушення.

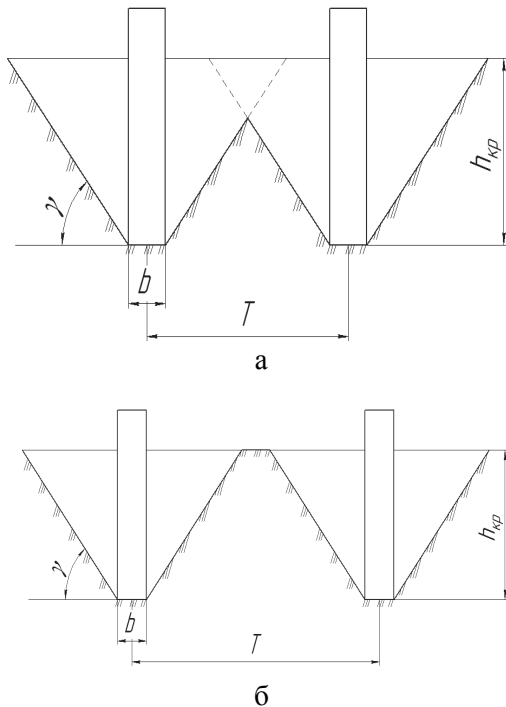


Рис. 1. Схема роботи землерийних робочих органів у фронтальній площині: а – при взаємному впливі робочих органів; б – при незалежній роботі землерийних робочих органів

Аналіз публікацій

Дослідження кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту описане у працях Ветрова Ю.О. [1], Зеленіна А.М. [2], Вайнсона А.А. [3] та інших вчених. В експериментальних дослідженнях Ветрова Ю.О. значення кута нахилу бокових стінок прорізу до горизонту γ змінювалося у проміжку від 30° до 46° для різних типів ґрунту [1]. У роботі А.А. Вайнсона [1] кут γ визначається за залежністю

$$\gamma = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2},$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Зеленін А.М. досліджував кут γ через кут нахилу тіла ковзання у горизонтальній площині, який був рівним 50° .

Мета і постановка задачі

Наведені вище значення мають лише експериментальний характер, тому постає потреба в аналітичному визначенні кута нахилу бокових стінок прорізу залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту для обґрунтування кроку розміщення ЗРО у фронтальній площині.

Дослідження кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту

Визначимо кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту із закону Кулона для ґрунтів

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi_0, \quad (1)$$

де c – питома сила зчеплення (коефіцієнт зчеплення); σ – нормальне напруження на площадці зсуву; τ – дотичне напруження на площадці зсуву.

Розглянемо руйнування ґрунту за схемою, зображеною на рис. 2.

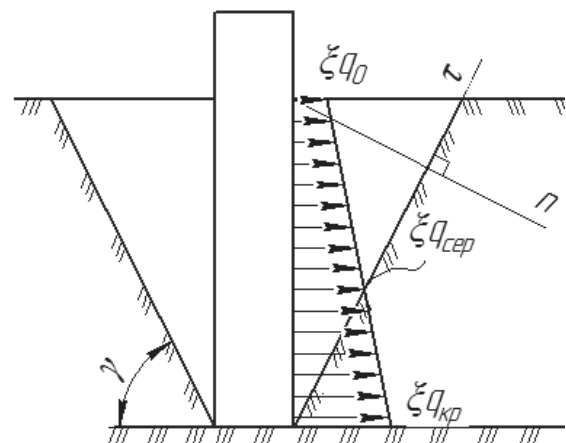


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу

У момент, що передуює сколюванню, на бокову площину прорізу діє середній тиск $\xi q_{\text{ср}}$

$$\xi q_{\text{ср}} = \frac{\xi q_{\text{кр}} - \xi q_0}{2}, \quad (2)$$

де ξ – коефіцієнт бокового тиску, який визначається за формулою Покровського Г.І. [4]

$$\xi = 1 - 0,74 \operatorname{tg}\varphi_0 - \frac{1,52 \cdot c}{q_{\text{кр}}}. \quad (3)$$

Мінімальний тиск q_0 , який діє на денній поверхні, визначається за формулою Алексєвої Т.В. [4]

$$q_0 = c \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 (A_1 - 1), \quad (4)$$

де A_1 – коефіцієнт, який залежить від кута різання ножа і визначається за формулою Соколовського В.В. для проміжних граней [4].

На критичній глибині він досягає максимально можливого значення за несучою здатністю ґрунту, за якого він втрачає свою стійкість і яке обчислюється за формулою Паукера [5]

$$q_{кр} = \left(\gamma_{гр} h_{кр} + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \cdot \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (5)$$

$\gamma_{гр}$, c – питома вага та коефіцієнт зчеплення ґрунту; $h_{кр}$ – критична глибина різання ґрунту ножем.

Спроектвавши тиск $\xi q_{сеп}$ на нормальну n і дотичну τ осі до площини зсуву, визначимо нормальне і дотичне напруження.

$$\begin{cases} \tau = \left(\frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{1,52 \cdot c} \right) \cdot q_{сеп} \cdot \cos \gamma, \\ \sigma = \left(\frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{1,52 \cdot c} \right) \cdot q_{сеп} \cdot \sin \gamma. \end{cases} \quad (6)$$

Після підстановки значень (6) у закон Кулона для ґрунтів (1) отримаємо

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{1,52 \cdot c} \right) \cdot q_{сеп} \cdot \cos \gamma = c + \\ & + \left(\frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{1,52 \cdot c} \right) \cdot q_{сеп} \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi_0. \end{aligned} \quad (7)$$

Спростивши вираз (7), отримаємо залежність для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту у фронтальній площині.

$$\gamma = \arccos \left(\frac{c \cdot \cos \varphi_0}{\left(\frac{1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0}{1,52 \cdot c} \right) \cdot q_{сеп}} \right) - \varphi_0. \quad (8)$$

Номограма для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу від кута внутрішнього тертя за різних значень коефіцієнта зчеплення наведена на рис. 3.

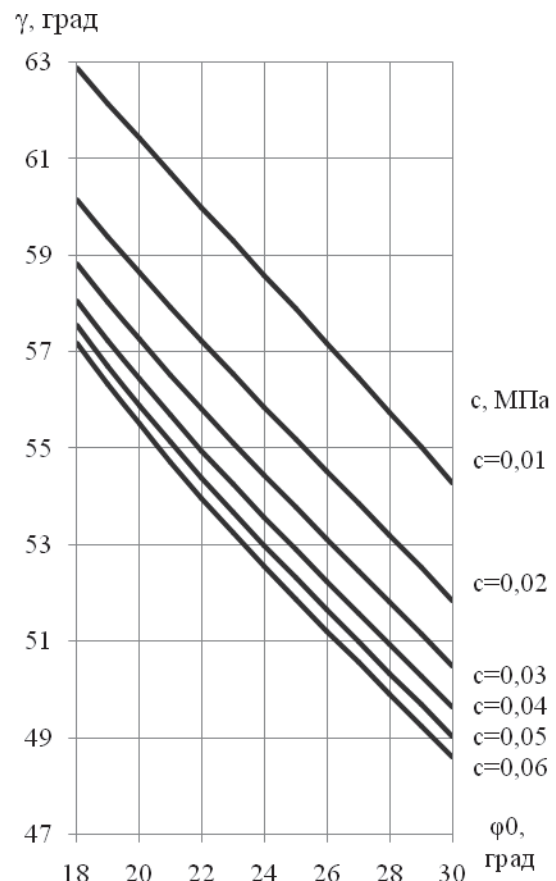


Рис. 3. Номограма для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту

Як бачимо із графіків, зображених на рис. 3, за збільшення кута внутрішнього тертя φ_0 кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту зменшується за лінійним законом. Значення γ обирається із номограми (рис. 3.) за відомих значень c і φ_0 . Наприклад, для напівтвердого суглинку ($c = 0,04$ МПа, $\varphi_0 = 23^\circ$) кут нахилу бічних стінок прорізу $\gamma = 54^\circ$; для твердого супіску ($c = 0,02$ МПа, $\varphi_0 = 28^\circ$) $\gamma = 53^\circ$; для напівтвердої глини ($c = 0,06$ МПа, $\varphi_0 = 22^\circ$) $\gamma = 54^\circ$.

Графік залежності кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту від коефіцієнта зчеплення ґрунту за різних значень кута внутрішнього тертя наведено на рис. 4.

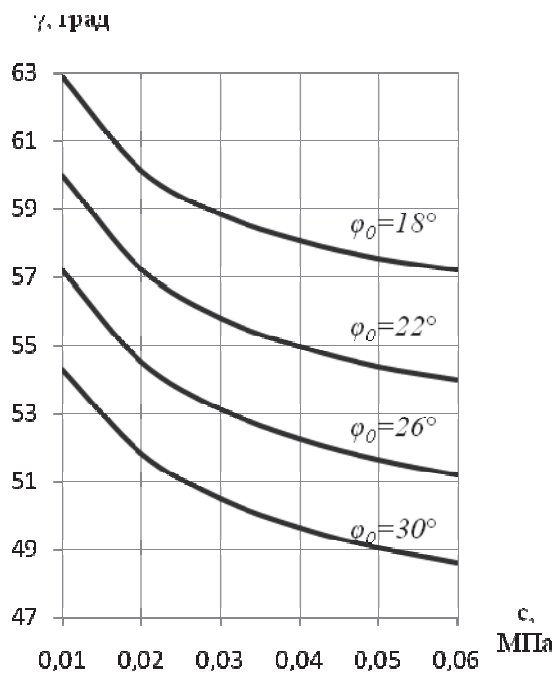


Рис. 4. Графік залежності кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту від коефіцієнта зчеплення за різних значень кута внутрішнього тертя

Аналізуючи графіки залежності γ від c за різних значень φ_0 , бачимо, що за збільшення коефіцієнта зчеплення значення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту зменшується за всіх значень кута внутрішнього тертя.

Для підтвердження отриманих теоретичних даних на ґрунтовому каналі кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин і обладнання сільськогосподарського виробництва Національного університету водного господарства та природокористування були проведені експериментальні дослідження для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту. Досліди проводились на напівтвердому суглинку. Загальний вигляд ґрунтового каналу й робочого обладнання подано на рис. 5.

Після проходження ЗРО та розчищення розпушеного ґрунту утворюється проріз, що має трапецієподібний поперечний переріз. Ширина прорізу по дну дорівнює ширині робочого органа. Під час розробки ґрунту на

критичну глибину, за зміни ширини різання та кута різання, проріз розширяється за висотою у напрямку поверхні масиву, при цьому кут нахилу бічних стінок прорізу знаходився в межах $\gamma = 48^\circ - 52^\circ$ (рис. 5), що підтверджує теоретичні значення кута нахилу бічних стінок прорізу, отриманих за залежністю (8).

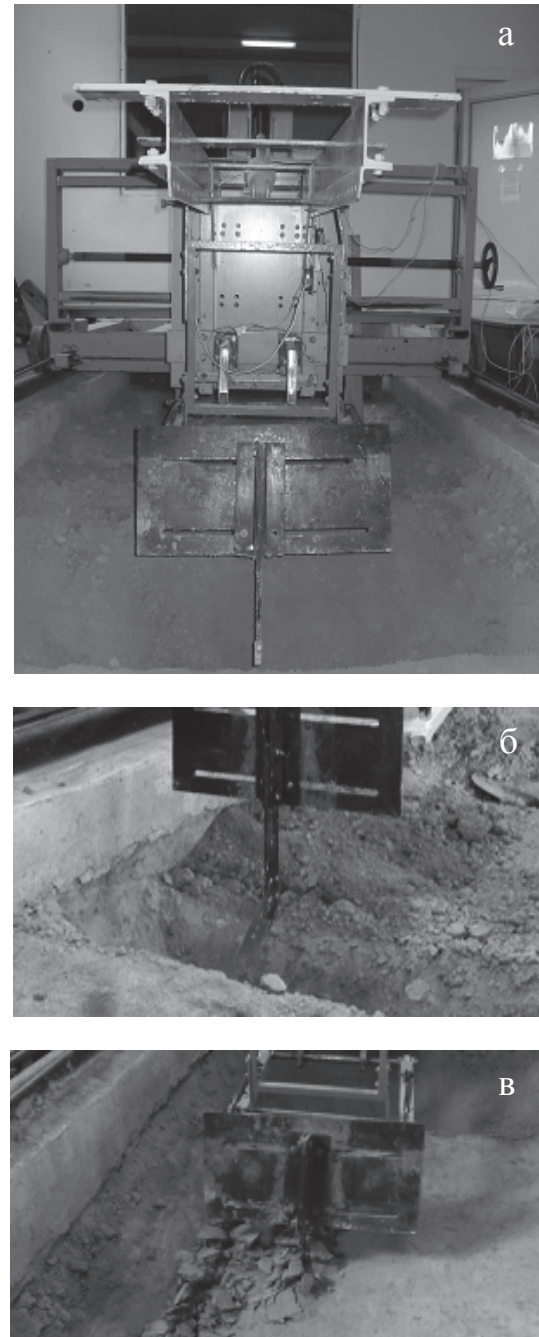
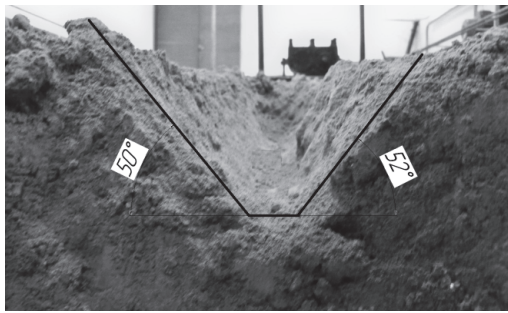


Рис. 5. Загальний вигляд ґрунтового каналу та дослідного робочого обладнання: а – загальний вигляд візка для кріплення дослідного обладнання; б – дослідний землерийний робочий орган; в – процес нарізання прорізу



$\alpha_p=30^\circ; b=0,03 \text{ м}; h=0,12 \text{ м}$



$\alpha_p=30^\circ; b=0,03 \text{ м}; h=0,12 \text{ м}$



$\alpha_p=50^\circ; b=0,045 \text{ м}; h=0,12 \text{ м}$



$\alpha_p=50^\circ; b=0,045 \text{ м}; h=0,12 \text{ м}$

Рис. 6. Поперечний переріз прорізу

Максимальна розбіжність між результатами експериментальних і теоретичних досліджень кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту для напівтвердого суглинку становить 11 %.

Висновки

Отримано математичну модель і номограму для визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту.

Аналітичні й експериментальні значення кута γ підтверджуються при різанні ґрунту на критичну глибину за різних значеннях ширини і кутів різання.

Максимальна похибка між аналітичними та експериментальними значеннями становить 11 %.

Зі збільшенням кута внутрішнього тертя кут γ зменшується за лінійною залежністю.

Зі збільшенням коефіцієнта зчеплення кут нахилу бічних стінок прорізу зменшується.

Література

1. Ветров Ю.А. Резание ґрунтов землеройными машинами / Ю.А. Ветров. – М.: Машиностроение, 1971. – 258 с.
2. Зеленин А.Н. Основы разрушения ґрунтов механическими способами / А.Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
3. Вайнсон А.А. Основы теории ножевых траншеекопателей / А.А. Вайнсон // Исследование работы экскаваторов и кранов: сб. тр. МИСИ. – М.: Госгортехиздат, 1960. – № 31. – С. 53–58.
4. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ (Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення) / С.В. Кравець. – Рівне: НУВГП, 2008. – 174 с.
5. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій (Основи теорії, проектування та створення) / С.В. Кравець. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999. – 278 с.

Рецензент: І.Г. Кириченко, професор, д.т.н. ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 10 липня 2014 р.