

О.В. КОСЯК, аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РІЗАННЯ І РОЗРІЗАННЯ ГРУНТІВ ПАСИВНИМИ НОЖАМИ

Актуальність проблеми. Одноярусними ножами традиційної конструкції раціонально прокладати підземні комунікації, якщо необхідна глибина прокладання не більша за критичну глибину різання ($H \leq h_{\text{крит}}$).

В цьому випадку руйнування ґрунту на критичну глибину може здійснюватися похилим ножом з позитивним кутом різання за рахунок відділення стружки від масиву на повну глибину. Сумарний опір ножа складається із лобового опору і сил тертя на бічних стінках ножа від активного тиску зруйнованого ґрунту, причому лобовий опір руйнуванню для даної схеми має вирішальне значення.

Друга схема руйнування на критичну глибину може бути реалізована для прокладання підземних комунікацій малого діаметра за рахунок розрізання ґрунтового масиву без відділення ґрунтової стружки. Сумарний опір ножа розрізанню складається із лобового опору і сил тертя від тиску на бічні стінки ножа від пружних деформацій ґрунту. Вирішальне значення в цій схемі руйнування мають сили тертя на бічних стінках ножа.

Мета і постановка задачі. Провести аналіз досліджень процесів різання і розрізання ґрунту для вибору схеми руйнування ґрунту з мінімальними енерговитратами.

Основна частина. Для визначення граничної товщини вертикального ножа, при якій сумарні опори руйнуванню вертикальним і похилим ножами на критичну глибину різання будуть рівними, необхідно знати вихідні дані і алгоритми для визначення сумарного опору різанню похилим і розрізанню вертикальним ножами. Гранична товщина дозволить розмежувати процеси різання і розрізання на основі рівності сумарних опорів і рекомендувати ту або іншу схему у залежності від діаметра комунікацій, що прокладаються.

Силу або опір різання похилого ножа можна визначити за допомогою аналітичної теорії прямого клина, яка розроблена Зворикінім К.А. для різання металів [1].

$$P = \frac{cbh \cos \varphi_0 \sin(\alpha_\delta + \varphi)}{\cos^2 \frac{\alpha_\delta + \varphi \pm \varphi_0}{2}}, \quad (1)$$

де c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; b, h – відповідно ширина і глибина різання; φ_0, φ – кут внутрішнього і зовнішнього тертя ґрунту; α_δ – кут різання ножа; "+ φ_0 " – для руйнування ґрунту зсувом; "- φ_0 " – для руйнування ґрунту відривом.

Недоліком теорії є те, що вона розроблена для вільного різання і не може бути застосована для блокованого різання, по принципу якого працюють безтраншейні укладачі.

Теорія граничної рівноваги сипучого середовища розроблена Соколовським В.В. для широких ножів ($h/b \leq 0,3$ де h, b – глибина і ширина різання) без урахування просторової взаємодії ЗРО з ґрунтом, яка має місце при роботі вузьких ножів. Тому метод Соколовського В.В. дає занижені результати сили різання для широких ножів і суттєво занижені для вузьких ножів. Він не враховує збільшення тиску на ніж по глибині різання, що має місце на практиці.

Вайнсон А.А. [2] запропонував для вузьких ножів, які працюють в умовах блокованого різання, визначити силу різання із трьох складових:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (2)$$

де P_1 – опір руйнуванню ґрунту; P_2 – опір ущільненню ґрунту у бокові стінки щілини; P_3 – опір підйому зруйнованого ґрунту.

Сила різання, яка визначена по залежностях Вайнсона А.А., також дає занижені результати тому, що в них не враховані сили опору на бічних поверхнях елемента сколювання ґрунту. Так, наприклад, для різання напівтвердого суглинки ($c = 0,04 \text{ МПа}$) ножом шириною 0,2 м на глибину 1,2 м розрахункова сила різання дорівнює 26 кН, що суттєво нижче реального значення [3]. Заміри проведені Хайзеруком Є.М. [4] показали, що для глибини різання 0,5 м розрахункове значення (2) тягового опору відрізняється від заміряного на 42...107%.

Експериментальні теорії різання ґрунтів Ветрова Ю.А., Зеленіна А.М., Айзенштока І.Я., Сточкуса Д.А. та інших [1] для визначення сил різання мають ті недоліки, що у кожному конкретному випадку необхідно проводити експерименти по визначенню тих або інших коефіцієнтів з великими витратами праці і часу. До того ж, експериментальні залежності не дозволяють зробити узагальнюючі висновки і прогнозувати результати за межами експериментальних досліджень, які успішно

використовуються для визначення таких вихідних даних як фізико-механічних властивостей ґрунтів, їх міцнісних характеристик, фізичної сутності процесів з метою подальших аналітичних досліджень.

Серед експериментальних досліджень, які присвячені вивченню процесів різання і розрізання ґрунтів пасивними ножами, необхідно виділити такі роботи [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Експериментальні дослідження виконав Ринкевич В.С. [7] з метою визначення сили різання у закритичній зоні ножами шириною 0,05...0,15 м і кутом різання від 20° до 170° , глибина різання змінювалася від 0,1 м до 1,7 м. У результаті встановлено, що оптимальний кут різання ножа із збільшенням глибини різання прямує до 90° . Аналогічні результати отримані Турецьким Р.Л. [8].

Федоров Д.І. [9] експериментально визначив тиск в основі і на бічних стінках прямокутного штампа при вертикальному заглибленні на 0,3 м у ґрунт з числом ударів щільноміра ДорНДІ 5...17. Отримані середні значення тиску на бічні стінки штампа, який склав 0,06 МПа. Найбільший тиск в основі штампа знаходився у межах 0,85...1,0 МПа, що відповідає розрахунковим даним критичного тиску, який визначається несучою спроможністю ґрунту за формулою Паукера [1].

У роботі [11] запропоновані залежності для визначення нормального тиску ґрунту на бічні стінки вертикального ножа, через модуль пружності і коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту. Останній показник для різних ґрунтів у залежності від вологості змінюється у дуже широких межах. Тому для кожного конкретного випадку коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту необхідно визначати експериментально, що рівнозначне експериментальному визначенню тиску на бічні стінки ножа.

Великий об'єм експериментальних досліджень із визначення опору різання вертикальними ножами з різним поперечним перерізом приведений Полтавцевим І.С. [5]. Встановлено, якщо опір різанню вертикального ножа з тригранним поперечним перерізом і кутом загострення 15° прийняти за 100%, то ніж аналогічної товщини з п'ятигранним поперечним перерізом (з бічними стінками) і кутом загострення 90° створює опір 143%; ніж із чотиригранним поперечним перерізом і з двохстороннім загостренням (передній – 90° , задній $< 90^{\circ}$) створює опір 125%; ніж з круглим поперечним перерізом – 129%. Найменший опір 93% має вертикальний ніж з п'ятигранним поперечним перерізом і кутом загострення $42,5^{\circ}$. Опір різанню вертикального ножа з п'ятигранним поперечним перерізом і кутом загострення 30° у суглинку вологістю 14% на 26,3% більший, ніж опір вертикального ножа із чотиригранним поперечним перерізом і з двохстороннім

загостренням у 30° . У цій же роботі приведені експериментальні значення контактного тиску ґрунту на лобову і бічні площини ножа.

Турецький Р.Л. [10] експериментально визначив залежності сили різання і питомої сили тертя для ножа з п'ятигранним поперечним перерізом від довжини бічних стінок ножа. Встановлено, що питома сила тертя на бічних площинах ножа у докритичній зоні у 10...15 разів менша, ніж у закритичній зоні. Визначена сила різання і питома сила тертя на бічних стінках ножа із шестигранним стрілоподібним поперечним перерізом (рис.1).

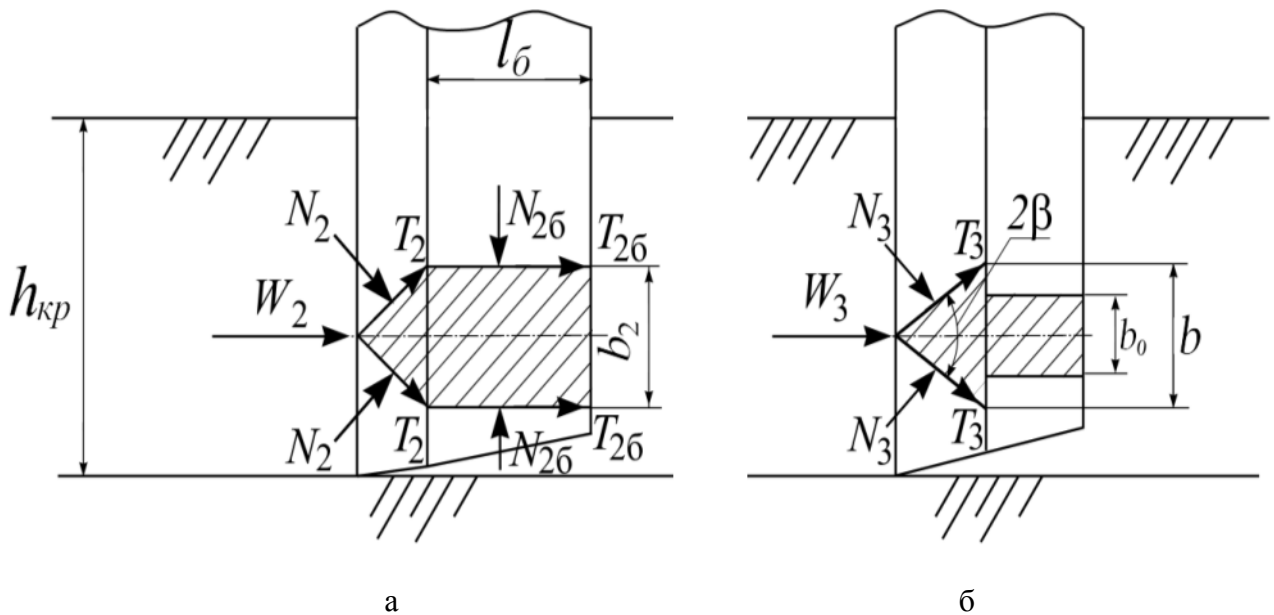


Рис.1. Схема руйнування ґрунту вертикальним ножом: а – із п'ятигранним стрілоподібним поперечним перерізом б – із шестигранним стрілоподібним поперечним перерізом: W_2, W_3 – сумарні опори ножів; N_2, N_3 – сили тиску на лобові грані ножів; $N_{2\delta}$ – сила тиску на бокові грані ножа із п'ятигранним поперечним перерізом; T_2, T_3 – сили тертя на лобові грані ножів; $T_{2\delta}$ – сила тертя на бокові грані ножа із п'ятигранним поперечним перерізом.

Знайдені відношення $b_0/b=0.3...0.4$, при яких на бічних стінках ножа відсутні сили тертя. Зроблений висновок, що якщо із-за технологічних вимог або із умови міцності неможливо зменшити ширину b_0 , то раціонально із енергетичних вимог збільшити товщину загострення b , щоб виконувалася умова $b_0/b=0.3...0.4$. При цьому важливо, щоб вигреш від зниження сил тертя був більшим за додатковий опір від збільшення ширини ножа.

Для визначення опору різанню ґрунту Костріцин А.К. розробив залежності:

- для ножів із тригранним поперечним перерізом:

$$P = 2k_1 F_1 \left(\sin \frac{\alpha}{2} + f \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3)$$

- для ножів із п'ятигранним поперечним перерізом:

$$P = 2k_1 F_1 \left(\sin \frac{\alpha}{2} + f \cos \frac{\alpha}{2} \right) + 2k_2 F_2 f, \quad (4)$$

де k_1 – питомий опір ґрунту деформуванню; F_1 – площа різальної частини ножа; α – кут загострення ножа; f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту; k_2 – питомий тиск ґрунту на бічні стінки ножа; F_2 – площа бічної стінки.

Недоліком залежностей є невизначеність величин k_1 і k_2 .

Уродов В.І. [6] провів експериментальні дослідження різання ґрунту вертикальними ножами із три – і п'ятигранними поперечними перерізами. Товщина (ширина) ножів складала 3,5 і 10 см, а довжина бокових граней – 0,3; 1,0; і 1,5 м. Глибина різання змінювалася від 0,05 до 1,5 м. У результаті встановлено, що питомий тиск на бічні грані ножа на глибинах більше 0,2 м не залежить від глибини різання ґрунту і товщини ножа, а сили тертя на бічних гранях складають до 34,2% від сили різання. Досліди показали, що розміщення бічних граней до осі ножа із п'ятигранним поперечним перерізом на 10 мм, дозволяє зменшити силу різання до сили різання ножа із тригранним поперечним перерізом рівної товщини.

Експериментально встановлено [12], що тиск на бічній грані ножа пропорційний глибині, практично не залежить від швидкості його руху і дорівнює пасивному тиску ґрунту (для різання у докритичній зоні) на торці. Проникнення деформатора у ґрунт супроводжується зростанням сили опору на торці прямопропорційно глибині, а сила тертя на бічній поверхні – за параболічною залежністю.

Деміан Т.Є. у результаті проведених досліджень зробив висновок про можливість створення ножа безтраншейного укладача з мінімальним опором переміщенню і максимальним привантаженням тягача вертикальною складовою цього опору.

Аналітична закономірність розподілення тиску ґрунту на бічні стінки ножа у закритичній зоні має наступний вигляд [13]:

$$q_a = \left(B_q + \sqrt{B_q^2 - 4A_q C_q} \right) / 2A_q, \quad (5)$$

де $B_q = 2c \cdot \cos \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0) + \gamma \cdot h (1 + \sin \varphi_0)$;

$A_q = 2(1 - \sin \varphi_0)$; $C_q = \gamma \cdot h \cdot c \cdot \cos \varphi_0 (1 + \sin \varphi_0) + 4c^2 \cos^2 \varphi_0$;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту; $\gamma \cdot h$ – вертикальне напруження від сили ваги ґрунту на глибині h від поверхні ґрунту.

Достовірність формули (5) перевірена для часткових випадків. Так, для невагомому зв'язного середовища ($\gamma \cdot h = 0, c \neq 0$) тиск на денній поверхні дорівнює

$$q_{\dot{a}} = 2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right). \quad (6)$$

Для випадку сипучих ґрунтів ($\gamma h \neq 0; c = 0$)

$$q_{\dot{a}} = \frac{\gamma h}{2} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (7)$$

що відповідає пасивному тиску ґрунту на підпірну стінку для зв'язного і сипучого ґрунту [13, 14].

Опір різанню одноярусного ножа традиційної конструкції у докритичній і закритичних зонах можна визначити за залежностями [15]:

- у докритичній зоні:

$$W_1 = \left[(1 - f_{\dot{a}}) + (f + f_{\dot{a}}) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{\delta} \right] \cdot q_{\dot{a}} b h_{\dot{e}\delta} + \frac{f \gamma_{\dot{a}} h_{\dot{e}\delta}^2}{\sin \alpha_{\delta}} l_{\dot{a}} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right); \quad (8)$$

- у закритичній зоні:

$$W_2 = (H - h_{\dot{e}\delta}) b q_{\dot{e}\delta} + q_{\dot{a}} \frac{2 f l_{\dot{a}}}{\sin \alpha_{\delta}} (H - h_{\dot{e}\delta}) = \left(b q_{\dot{e}\delta} + \frac{2 f l_{\dot{a}}}{\sin \alpha_{\delta}} q_{\dot{a}} \right) (H - h_{\dot{e}\delta}), \quad (9)$$

де H – повна глибина різання; $h_{кр}$ – критична глибина різання; b – ширина ножа; $q_{кр}$ – критичний тиск на ніж відповідно несучій спроможності ґрунту; $q_{сер.б.}$ – середній тиск на бічні стінки ножа по глибині зони пружно-пластичних деформацій (закритичній зоні); f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту; $f_{оп}$ – коефіцієнт опору переміщення ходового обладнання; α_p – кут різання ножа; $q_{сер.}$ – середній нормальний тиск на ніж у докритичній зоні; $\gamma_{сп}$ – питома сила ваги ґрунту; l_{δ} – довжина бічних стінок ножа.

На рис.2. приведені графічні залежності, які побудовані за вище приведеними аналітичними залежностями (8) і (9) для різних типів ґрунтів.

Аналіз графічних залежностей на рисунку 2 показує, що на всіх ґрунтах із збільшенням повної глибини різання та довжини бічних стінок ножа, а також ширини

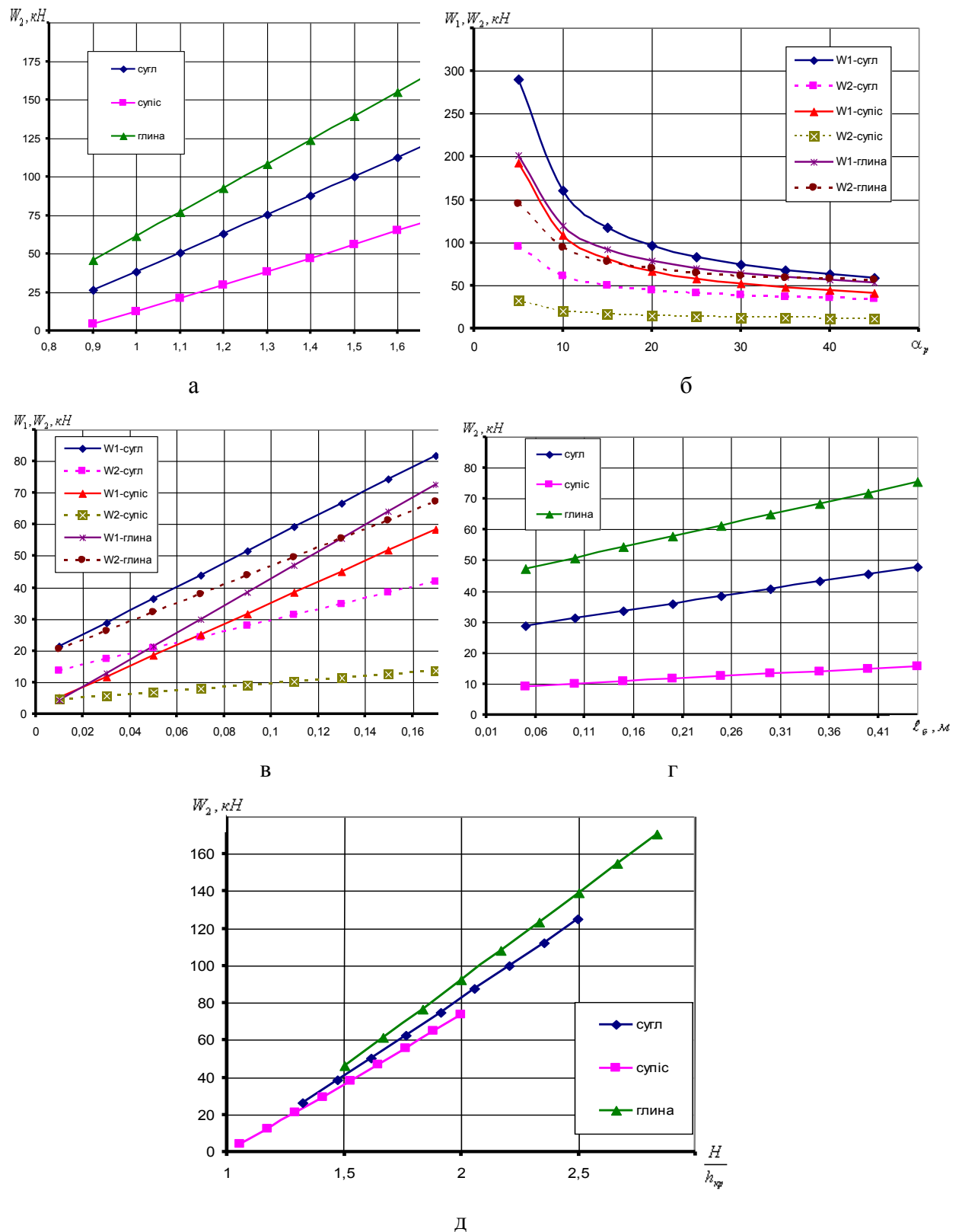


Рис. 2. Залежність опору різанню одностороннього ножа традиційної конструкції у докритичній W_1 і закритичній W_2 зонах від: а – повної глибини різання; б – кута різання ножа; в – ширини ножа; г – довжини бічних стінок ножа; д – відношення повної до критичної глибини різання.

ножа – пропорційно збільшується опір різання одноярусного ножа традиційної конструкції. Крім того на рисунку 2, в видно, що для глини при ширині ножа $b > 0.13$, і опір різання в докритичній зоні буде більшим ніж у закритичній. На рисунку 2, д видно, що опір різання традиційного ножа у за критичній зоні суттєво залежить від співвідношення повної глибини різання до критичної ($H/h_{\text{кр}}$). Проаналізувавши рисунку 2, б можна з впевненістю сказати, що при куті різання $\alpha_{\delta} < 15^{\circ}$ спостерігається різке зростання тягового опору на всіх ґрунтах у до критичній і за критичній зонах. Крім того для глини при $\alpha_{\delta} > 35^{\circ}$ опір різання в докритичній зоні буде меншим ніж у закритичній.

Висновки. У результаті проведеного аналізу робіт по дослідженню процесів глибокого різання і розрізання ґрунтів пасивними ножами встановлено, що вченими на сьогоднішній день визначені, як правило, сили різання і тиск ґрунту на робочі грані ножа. Гранична межа, при якій сумарні опори різанню похилим ножом на критичну глибину і розрізанню вертикальним ножом на ту ж глибину будуть рівними, не визначена. Крім того, із рівності сумарних опорів не визначена еквівалентна товщина ножа із тригранним поперечним перерізом ножа із п'ятигранним поперечним перерізом. Проаналізовані дослідження дозволяють вибрати вихідні дані і алгоритми для визначення сил і опорів різанню для подальших досліджень по вирішенню поставлених задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 124 с.
2. Вайнсон А.А. Основы теории ножевых траншеекопателей. – В кн.: Исследование работы экскаваторов и кранов : Сб. тр. МИСИ. -М. : Госгортехиздат, 1960, № 31, С. 53-88.
3. Кравець С.В., Нечидюк А.А. Визначення опору переміщенню безтраншейного двох'ярусного укладача з криволінійними різальними частинами – В кн.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. тр. ПГАСА – Днепропетровск, 2004, Вып. 26, С. 51-56.
4. Хайзерук Е.М. Машины и механизмы для прокладки кабеля. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
5. Полтавцев И.С., Орлов В.Б., Ляхович И.Ф. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства. - К.: Будівельник, 1977. – 136 с.
6. Уродов В.И. Физические основы глубокого резания ґрунтов. -Минск : Наука и техника, 1972. – 232 с.

7. Рынкевич В.С. Исследование резания минерального грунта вертикальным ножом. - В кн. : Механизация и электрофикация сельского хозяйства: Респ. межвед. тематич. науч.-техн. сб. - Минск: Урожай, 1970, Вып. 6, С.50-60.
8. Турецкий Р.Л. Оптимизация угловых параметров ножевого рабочего органа дренажной машины. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1985, № 3, С. 8-12.
9. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин.- М.: Машиностроение, 1977. –288 с.
10. Турецкий Р.Л. Обратимые деформации грунта и сопротивление резанию. – В кн.: Механизация почвообработки, приготовления и использования удобрений: Сб. научн. трудов. – Минск: ЦНИИМЭСХ, 1986, С. 23-50.
11. Дьяков В.П. Усилие вертикального резания почвы. – Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1987, № 4, С. 34-37.
12. Кучерук А.А., Кравец С.В. Определение давления грунта на боковые стенки разрезающего ножа / Констр. и технология пр-ва с-х машин: Респ. межвед. науч.- техн. сб.-К.: Техника, 1987, вып. 17, С.37-40.
13. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
14. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов.- М.: Высшая школа, 1976. – 511 с.
15. Машини для земляних робіт: Навч. посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В. та інші. Під заг. редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. – Рівне-Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.

УДК 532.5

В.С. ЛОВЕЙКИН, докт. тех. наук,

Ю.В. ЧОВНЮК, канд. техн. наук, К.И. ПОЧКА, канд. техн. наук.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ/ ПОДПЯТНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Постановка проблемы. Исследование течения жидкости в щелевых зазорах представляет интерес для задач машиностроения в связи с широким использованием подшипников и подпятников скольжения грузоподъемных кранов, а также щелевых уплотнений в гидромашинах. Этому вопросу посвящено немало работ, в первую очередь в связи с теорией смазки. Другая группа работ относится к вопросам динамики и устойчивости роторов, опирающихся на жидкостные плёнки.