

УДК 624.132.3:621.315.29

РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ НОЖОВИХ БЕЗТРАНШЕЙНИХ УКЛАДАЧІВ

С. В. Кравець, докт. техн. наук, проф. О. Л. Романовський, канд. техн. наук,
О. Ю. Васильчук, асп., *Національний університет водного господарства та природокористування*

Викладені теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів навісних ножових робочих органів на тягово-зчіпні характеристики базових машин. Наведені математична та графічні залежності для визначення раціональних кутів установки ножів залежно від кутів загострення і середовища.

Ключові слова: *ножовий укладач труб, тягово-зчіпні характеристики, кут загострення, кут установки.*

Стан проблеми. Роботи, що виконуються при будівництві дренажних, термогідравлічних систем, укладанні лінійно-протяжних об'єктів (ЛПО) у підземний горизонт потребують створення нових машин, які за рахунок повного використання тягово-зчіпних властивостей базових машин забезпечать максимально можливі технологічні параметри.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доцільність прокладання підземних комунікацій безтраншейним способом підтверджено в працях С. В. Кравця [1], В. С. Казакова [2], Е. М. Хайзерука [3]. Це дозволяє на порядок підвищити швидкість, а з нею і продуктивність праці та в 3...5 разів зменшити об'єм земляних робіт, виключити винесення мінерального ґрунту на поверхню, мінімізувати втрати гумусного шару і, відповідно, техногенний вплив на природне середовище.

Проте, наявність ножів розрізного типу на робочому обладнанні для прокладання підземних комунікацій безтраншейним способом обумовлює значний тяговий опір. Тому, пріоритетним напрямком дослідження вищенаведених машин є оптимізація геометричних параметрів розрізних ножів, а саме кутів загострення та установки, що дозволить максимально використовувати

тягово-зчіпні властивості базових машин для забезпечення необхідних технологічних параметрів, тобто максимально можливих глибини або зони обробітку.

Тому, для вирішення вищенаведеної проблеми необхідно провести дослідження впливу кутів різання та установки розрізних ножів на тягово-енергетичні характеристики процесу різання ґрунту.

Оскільки при оптимізації кутових параметрів по тяговому опору можливе вивішування базової машини на робочому органі, і, відповідно, зменшення тягових можливостей базових машин, то оптимізацію параметрів ножів навісних робочих органів слід проводити на основі повного опору розрізування ґрунту з врахуванням завантаження базової машини вертикальною складовою цього опору [1].

Мета статті. Встановити залежності зміни раціональних кутів установки γ ножів розрізного типу залежно від кутів загострення α за умови максимального використання тягово-зчіпних можливостей базових машин для забезпечення максимальної реалізації технологічних параметрів машини, тобто максимально можливих глибини або зони обробітку.

Основний матеріал. Відомо [1, 4], найкращим чином реалізація параметра максимальної глибини закладання лінійно-протяжних об'єктів відбудеться за умови повного використання тягово-зчіпних властивостей базових машин, а останні за умови, що кут установки розрізного ножа відповідає мінімальному значенню різниці між тяговим опором і додатковою силою зчеплення від довантаження тягача вертикальною складовою повного опору робочому органу, тобто:

$$\Delta = W - \phi_3 R \rightarrow \min, \quad (1)$$

де Δ — різниця між тяговим опором та додатковою силою зчеплення тягача з ґрунтом; W — тяговий опір; ϕ_3 — коефіцієнт зчеплення ходового обладнання тягача з опорною поверхнею; R — вертикальна складова сили опору різанню.

Такі дослідження повинні виконуватись за умови, що поточне значення тиску q виражається через несучу спроможність ґрунту $q_{кр}$ з врахуванням залежності тиску на робочі грані ножа від кута загострення і установки [5]:

$$q = q_{кр} \cdot K, \quad (2)$$

$$K = \frac{\cos \alpha - \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi}{1 - \sin^2 \gamma \cdot (1 - \cos \alpha) - \sin \gamma \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (3)$$

де K — оціночний коефіцієнт співвідношення між тисками середовища на робочу грань ножа; α — кут загострення; ϕ — кут тертя ґрунту по робочій грані; γ — кут установки розрізного ножа.

Оскільки співвідношення геометричних параметрів лінійно — протяжних об'єктів і глибини їх закладання знаходяться в межах 5...10 %, то критичною глибиною нехтуємо [6] і процес різання ґрунту можна представити у вигляді схеми, що представлена на рис.1.

Таке виконання розрізного ножа 1 забезпечує якісне розрізування різальною кромкою 2 робочого середовища 3, поділ середовища на два потоки і формування щілини шириною b .

Схема силової взаємодії ножа з робочим середовищем представлена на рис. 2.

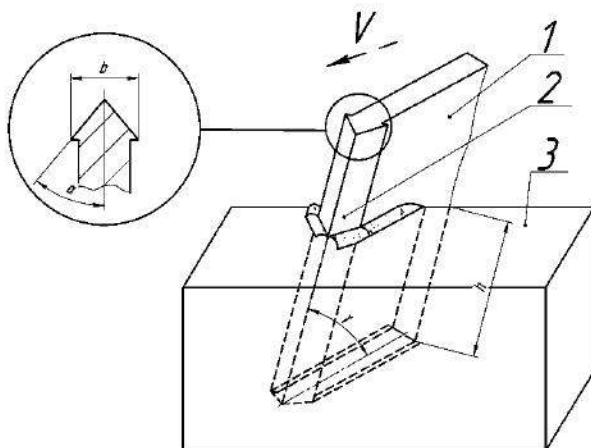


Рис. 1. Схема різання ґрунту

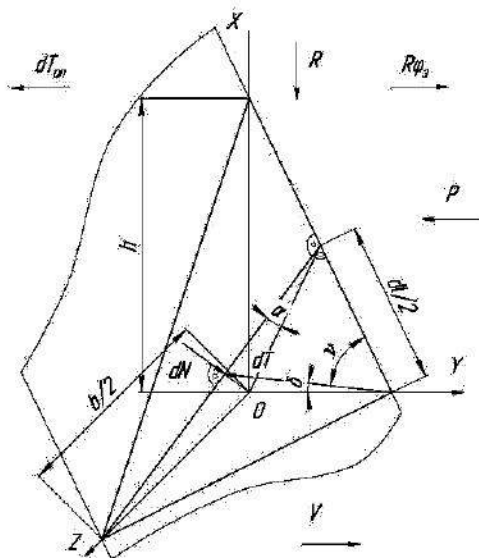


Рис. 2. Схема силової взаємодії ножа з ґрунтом

В якості вихідних передумов досліджень покладемо: 1) середовище — однорідне ізотропне, характеризується зчепленням, внутрішнім і зовнішнім тертям, щільністю і вологістю; 2) швидкість руху ножа на процес не впливає; 3) руйнування середовища здійснюється з формуванням пластичної деформації, при цьому несуча спроможність ґрунту визначається за формулою [7]:

$$q_{кр} = \frac{c}{\operatorname{tg} \phi_0} \left[e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \phi_0} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_0}{2} \right) - 1 \right], \quad (4)$$

де c — коефіцієнт зчеплення середовища; ϕ_0 — кут внутрішнього тертя матеріалу.

Як видно з рис. 2, на елементарну ділянку розрізного ножа довжиною dl діють сили: елементарна нормальна сила тиску dN та сила тертя dT . Перераховані сили викликають додатковий опір переміщенню dT_{on} від привантаження ходового обладнання вертикальною складовою повної сили різання.

За умови рівноваги сил маємо:

$$dP = 2dN \sin \alpha \sin \gamma + 2dT \cdot \cos \delta + dT_{on}, \quad (5)$$

$$dR = 2dN \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma - 2dT \cdot \cos \nu \cdot \sin \gamma, \quad (6)$$

де α — кут між робочою гранню розрізного ножа і площиною XOY у нормальному до різальної кромки перерізі (кут загострення); δ , ν — кути між напрямком руху середовища на розрізному ножі і відповідно віссю OY та різальною кромкою; γ — кут установки розрізного ножа до напрямку руху в горизонтальній площині (кут установки).

Елементарна нормальна сила тиску на розрізний ніж dN визначається через тиск q і елементарну площадку dF , тоді:

$$dN = q \cdot dF, \quad dF = \frac{b \cdot dl}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad dl = \frac{dx}{\sin \gamma}. \quad (7)$$

Силу тертя dT виразимо через нормальну силу тиску dN і коефіцієнт тертя f :

$$dT = f \cdot dN. \quad (8)$$

Додатковий опір переміщенню dT_{on} від завантаження ходового обладнання вертикальною складовою повної сили різання виразимо через вертикальну складову повного опору робочого органа dR та коефіцієнт опору переміщенню опор f_{on} :

$$dT_{on} = f_{on} \cdot dR. \quad (9)$$

Кути δ і ν визначені на основі припущення, про неперервність руху ґрунтових частинок по робочій грані ножа [5].

$$\cos \delta = \sin^2 \gamma (\operatorname{ctg}^2 \gamma + \cos \alpha), \quad (10)$$

$$\cos \nu = \cos \gamma. \quad (11)$$

Підставивши вирази (7), (8), і (11) у вираз (6) і виконавши деякі спрощення, отримаємо:

$$dR = q \cdot b \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha} \right) \cdot dx. \quad (12)$$

Підставивши вирази (6)-(10) у вираз (5) і виконавши деякі спрощення, отримаємо:

$$dP = q \cdot b \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \alpha)}{\sin \alpha}\right) + f_{on} \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha}\right) \cdot dx. \quad (13)$$

Проінтегруємо вирази (12), (13) в межах від 0 до h :

$$dR = \int_0^h q \cdot b \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha}\right) \cdot dx, \quad (14)$$

$$P = \int_0^h q \cdot b \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \alpha)}{\sin \alpha}\right) + f_{on} \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha}\right) \cdot dx. \quad (15)$$

Отримаємо:

$$R = q \cdot b \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha}\right) \cdot h, \quad (16)$$

$$P = q \cdot b \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \alpha)}{\sin \alpha}\right) + f_{on} \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha}\right) \cdot h. \quad (17)$$

З врахуванням залежностей (2), (3), (16), (17) і підстановки їх у (1) отримаємо:

$$\Delta = \left[\begin{array}{l} q_{sp} \cdot b \cdot h \times \left(\frac{\cos \alpha - \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi}{1 - \sin^2 \gamma \cdot (1 - \cos \alpha) - \sin \gamma \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi} \right) \times \\ \times \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \alpha)}{\sin \alpha} + (f_{on} - \phi_s) \cdot \left(\operatorname{ctg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \phi \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha} \right) \right) \end{array} \right]. \quad (18)$$

Для знаходження оптимальних установочних кутів візьмемо похідну $\frac{d\Delta}{d\gamma}$

і прирівняємо її до 0. Для зручності диференціювання зробимо наступні позначення:

$$q_{sp} \cdot b \cdot h = A, \quad (19)$$

$$\frac{\cos \alpha - \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi}{1 - \sin^2 \gamma (1 - \cos \alpha) - \sin \gamma \sin \alpha \operatorname{tg} \phi} = B, \quad (20)$$

$$1 + \frac{\operatorname{tg}\phi \cdot (\cos\gamma \cdot \operatorname{ctg}\gamma + \sin\gamma \cdot \cos\alpha)}{\sin\alpha} + (f_{on} - \phi_s) \cdot (\operatorname{ctg}\gamma - \frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \cos\gamma}{\sin\alpha}) = C. \quad (21)$$

Після прийнятих нами позначень отримаємо:

$$\frac{d\Delta}{d\gamma} = (A \cdot B \cdot C)'. \quad (22)$$

Використавши основні правила диференціювання $((C \cdot U \cdot V)' = C \cdot (U \cdot V)'$, $(U \cdot V)' = U' \cdot V + U \cdot V'$, де C — константа; U, V — функції) вираз (22) набуде вигляду:

$$\frac{dP}{d\gamma} = A \cdot (B' \cdot C + B \cdot C'). \quad (23)$$

З виразу (23) визначимо B' і C' , використовуючи при цьому правила диференціювання:

$$B' = \frac{(\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi) \cdot (\sin 2\gamma \cdot (1 - \cos\alpha) + \cos\gamma \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi)}{(1 - \sin^2\gamma \cdot (1 - \cos\alpha) - \sin\gamma \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi)^2} \quad (24)$$

$$C' = \frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \cos\gamma \cdot (\cos\alpha - 2 - \operatorname{ctg}^2\gamma)}{\sin\alpha} + (f_{on} - \phi_s) \cdot (\frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \sin\gamma}{\sin\alpha} - \frac{1}{\sin^2\gamma}) \quad (25)$$

Підставивши вирази (19)-(21), (24) і (25) у вираз (23) і прирівнявши праву частину до 0, отримаємо залежність для визначення оптимального значення установочних кутів:

$$\left(\begin{aligned} & \left(\frac{(\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi) \cdot (\sin 2\gamma \cdot (1 - \cos\alpha) + \cos\gamma \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi)}{(1 - \sin^2\gamma \cdot (1 - \cos\alpha) - \sin\gamma \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi)^2} \right) \times \\ & \quad \times \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\phi \cdot (\cos\gamma \cdot \operatorname{ctg}\gamma + \sin\gamma \cdot \cos\alpha)}{\sin\alpha} + \right. \\ & \quad \left. + (f_{on} - \phi_s) \cdot (\operatorname{ctg}\gamma - \frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \cos\gamma}{\sin\alpha}) \right) + \left(\frac{\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi}{1 - \sin^2\gamma \cdot (1 - \cos\alpha) - \sin\gamma \cdot \sin\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi} \right) \times \\ & \quad \times \left(\frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \cos\gamma \cdot (\cos\alpha - 2 - \operatorname{ctg}^2\gamma)}{\sin\alpha} + (f_{on} - \phi_s) \cdot \left(\frac{\operatorname{tg}\phi \cdot \sin\gamma}{\sin\alpha} - \frac{1}{\sin^2\gamma} \right) \right) \end{aligned} \right) = 0. \quad (26)$$

В результаті дослідження рівняння (26) отримані графічні залежності, що представлені на рис. 3, де наведені залежності установочних кутів γ від кутів загострення α розрізних ножів навісних робочих органів при $f_{on}=0,1$ (рис. 3 а) та $f_{on}=0,3$ (рис. 3б). Коефіцієнт зчеплення ходового обладнання тягача з опорною поверхнею (φ_3) відповідно рівний 0,9 та 0,6.

З використанням математичних (26) або ж графічних (рис. 3) залежностей стає можливим визначення теоретичним шляхом кута установки γ розрізного ножа для навісних робочих органів в залежності від кута загострення α даного ножа.

Висновки. Визначними параметрами, що впливають на кут установки є тип ґрунту, кути загострення. Менш значний вплив справляють зчеплення ходового обладнання з опорною поверхнею і опір переміщенню.

Рациональний кут установки розрізних ножів залежно від кута загострення може змінюватися в межах $50 \div 80^\circ$, при цьому тяговий опір змінюється в $1,3 \div 1,5$ рази.

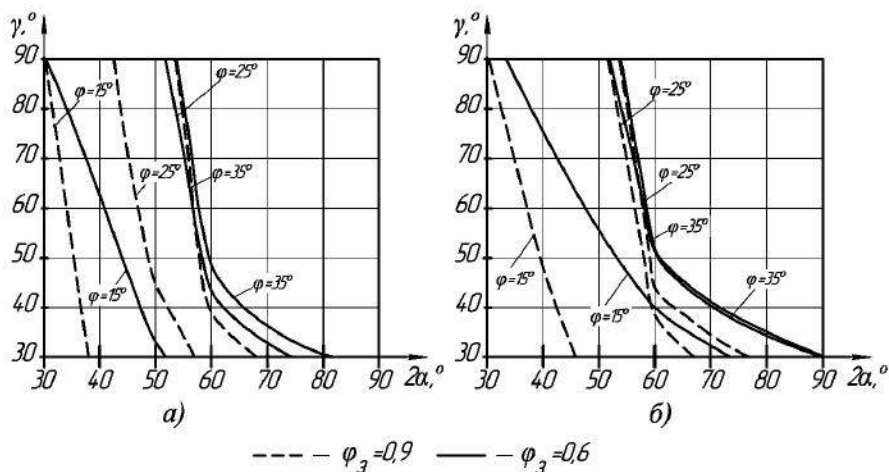


Рис. 3. Залежності установочних кутів γ від кутів загострення α розрізних ножів навісних робочих органів

Рациональна установка ножів для конкретних машин дає можливість використовувати тягово — зчіпні характеристики тягачів, а останнє — максимальну реалізацію технологічних параметрів, тобто максимально можливих глибин закладання лінійно-протяжних об'єктів або зон обробітку.

Бібліографія

1. *Кравець С. В.* Грунтозахисні та енергозберігаючі машини: Монографія./ РДТУ. Рівне, 1999. — 277 с.
2. *Казаков В. С.* Бестраншейные дренажники. — М.: Россельхозиздат, 1974. — 62 с.
3. *Хайзерук Е. М.* Кабелеукладчики. — М.: Машиностроение, 1973 — 199 с.
4. *Патент № 99047* України, МПК А01В 13/08, Е02F 5/30. Землерийна машина / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, О. Ю. Васильчук, та ін.; заявник і патентовласник НУВГП; заявл. 17.03.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
5. *Романовський О. Л.* Аналітичні дослідження впливу кута захвату на тиск робочого середовища на робочу грань ножа /. — Рівне: Вісник РДТУ, 1998. — Вип. № 1. — Ч. 1. — С. 158-161.
6. *Ветров Ю. А.* Машины для специальных земляных работ. / Ю. А. Ветров, В. Л. Баладинский. — Киев: Высшая школа, 1980. — 192 с.
7. *Цытович Н. А.* Механика грунтов. — М.: Высшая школа, 1979. — 272 с.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НОЖЕВЫХ БЕСТРАНШЕЙНЫХ УКЛАДЧИКОВ

Изложены теоретические исследования влияния геометрических параметров навесных ножевых рабочих органов на тягово-цепные характеристики базовых машин. Приведенные математическая и графические зависимости для определения рациональных углов установки ножей в зависимости от углов заострения и среды.

Ключевые слова: *ножевой укладчик труб, тягово-цепные характеристики, угол заострения, угол установки.*

THE RATIONAL PARAMETERS OF TRENCHLESS KNIFE LAYER MACHINES

The article presents theoretical research of the influence of geometrical parameters of the hinged knives on the draw-coupling characteristics of the basic machines. There are mathematical and graphical dependencies to determine the rational angles of the knives depending on the wedge angles and the environment.

Key words: *knife pipe layer, draw-coupling characteristics, the wedge angle, the installation angle.*