

УДК 621.878.2:62-11

*М.Е. Хожило, к.т.н., доцент
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ҐРУНТУ РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Наведено результати дослідження силових та енергетичних параметрів процесу різання ґрунту різально-метальним робочим органом.

***Ключові слова:** енергетичні параметри, різально-метальний робочий орган, різання ґрунту.*

УДК 621.878.2:62-11

*М.Э. Хожило, к.т.н., доцент
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ГРУНТА РЕЖУЩЕ-МЕТАТЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Приведены результаты исследования силовых и энергетических параметров процесса резания ґрунта режущо-метательным рабочим органом.

***Ключевые слова:** энергетические параметры, режущо-метательный рабочий орган, резание ґрунта.*

UDC 621.878.2:62-11

*M.E. Khozhilo, PhD, Associate Professor
PHEI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»*

IDENTIFICATION OF POWER AND ENERGY PARAMETERS OF DIGGING CUTTING-PROJECTILE WORKING BODY

The paper presents the results of a study of power and energy parameters of the process of digging cutting-projectile working body.

***Keywords:** energy parameters, cutting- projectile working body, coat cutting.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На основі аналізу змісту науково-технічних робіт, патентів та авторських свідоцтв різних країн, у яких досліджувалися конструкції робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії (ЗТМБД) з активними робочими органами, було встановлено низку ключових недоліків, а саме: застосування гвинтових транспортувальних пристроїв, які переміщують ґрунт без його відриву від гвинтової поверхні, що значно збільшує енергоємність робочого процесу; застосування ковшових елементів для копання ґрунту не дозволяє отримати потрібну ширину розробки при пошаровому зрізанні ґрунту ЗТМБД на невелику глибину; неможливість

локального накопичування ґрунту з метою його ефективного переміщення зосередженим потоком на зовнішній транспортувальній пристрій без додаткових елементів [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковане розв'язання цієї проблеми і на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідженню процесів та закономірностей розробки ґрунту землерийними машинами присвячені роботи В.Л. Баладінського, В.І. Баловнева, Ю.О. Ветрова, А.П. Дворніченко, М.Г. Домбровського, А.М. Зеленина, І.А. Недорезова, В.В. Нічке, В.О. Пенчука, Л.Є. Пелевіна, В.К. Руднева, Л.К. Соколова, Д.І. Федорова, Л.А. Хмари, А.М. Холодова [3].

Аналіз робіт авторів дав змогу встановити, що розглянуті відомі праці з різання ґрунту активними робочими органами не надають методик розрахунку силових й енергетичних параметрів процесу різання ґрунту різально-метальним робочим органом (РМО).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Визначити силові та енергетичні параметри процесу різання ґрунту РМО.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Об'єм ґрунту, що зрізається гвинтовим робочим органом, залежить від його частоти обертання n та швидкості руху базової машини V_M . Частота обертання при постійному діаметрі D робочого органа визначає лінійну колову швидкість V_0 різальної кромки робочого органа [4].

Ширина різання ґрунту нормальна до осі обертання (рис. 1):

$$b_p = R\beta_k + V_M t_{об}. \quad (1)$$

Ширина різання ґрунту у напрямі різальної кромки ножа гвинтової поверхні робочого органа дорівнює $b_c = (R\beta_k + V_M t_{об}) / \cos \alpha_0$.

Середня товщина ґрунту, що зрізується у напрямі різальної кромки ножа гвинтової поверхні робочого органа

$$h_{cp} = \frac{F_c}{b_c} = \frac{V_M t_{об} h_k}{R\beta_k + V_M t_{об}}. \quad (2)$$

На рисунку 2 прийнята умова, що $\alpha_p = \alpha_{тр}$.

Елементарна нормальна складова опору різання ґрунту, що діє на елементарну площину зі сторонами dl та dz , дорівнює

$$dN = \frac{\sigma_n}{\sin \alpha_p} dx \cdot dz, \quad (3)$$

де σ_n σ_n – нормальне напруження, яке створюється ґрунтом, що зрізується.

Таким чином, згідно із законом зміни нормального напруження ґрунт, який зрізується, відразу захоплюється гвинтовою поверхнею і

транспортується вздовж кола робочого органа, тому зовнішній тиск дорівнює нулю $p = 0$ і відповідно

$$\sigma_n = \gamma g x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right). \quad (4)$$

Коефіцієнт A_1 визначається залежно від значення кута різання [5].

З урахуванням виразу для визначення σ_n сила dN , діюча на виділений елемент ножа, обчислюється так:

$$dN = \frac{\gamma g x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right)}{\sin \alpha_p} dx \cdot dz. \quad (5)$$

Складова N опору різання ґрунту дорівнює

$$N = \frac{1}{\sin \alpha_p} \int_0^{b_c} \left\{ \int_0^{h_{cp}} \left(\gamma g x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right) dx \right\} dz, \quad (6)$$

або після інтегрування $N = \frac{U}{\sin \alpha_p}$, де

$$U = h_{cp} b_c \left(\frac{\gamma g h_{cp}}{2} + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right), \quad (7)$$

Елементарна результуюча сили опору різання ґрунту дорівнює

$$dP = \frac{dN}{\cos \delta} \quad (8)$$

чи з урахуванням виразу (3)

$$dP = \sigma_n \frac{dx dz}{\cos \delta \cdot \sin \alpha_p}. \quad (9)$$

Елементарна дотична складова опору різання ґрунту дорівнює

$$dP_{01} = \sigma_n \frac{\sin(\alpha_p + \delta)}{\cos \delta \cdot \sin \alpha_p} dx dz. \quad (10)$$

Після перетворень та інтегрування отримаємо формули:

$$P_{01} = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_p \cdot \operatorname{tg} \delta) h_{cp} b_c \left(\frac{\gamma g h_{cp}}{2} + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right). \quad (11)$$

$$P_{02} = (1 - \operatorname{tg} \alpha_p \cdot \operatorname{tg} \delta) \operatorname{ctg} \alpha_p h_{cp} b_c \left(\frac{\gamma g h_{cp}}{2} + c \cdot \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right). \quad (12)$$

На рисунку 3 подано схему дії повних сил опору на різальну частину одного витка робочої поверхні різально-метального робочого органа.

Сила тертя ґрунту по різальній частині одного витка робочої поверхні різально-метального робочого органа дорівнює

$$F_{\text{тп}} = N \cdot \text{tg} \delta, \quad (13)$$

де δ – кут зовнішнього тертя ґрунту.

Осьова складова сили тертя, що діє на один виток робочої поверхні різально-метального робочого органа, становить

$$F_{\text{тп1}} = N \cdot \text{tg} \delta \cdot \sin \alpha_0. \quad (14)$$

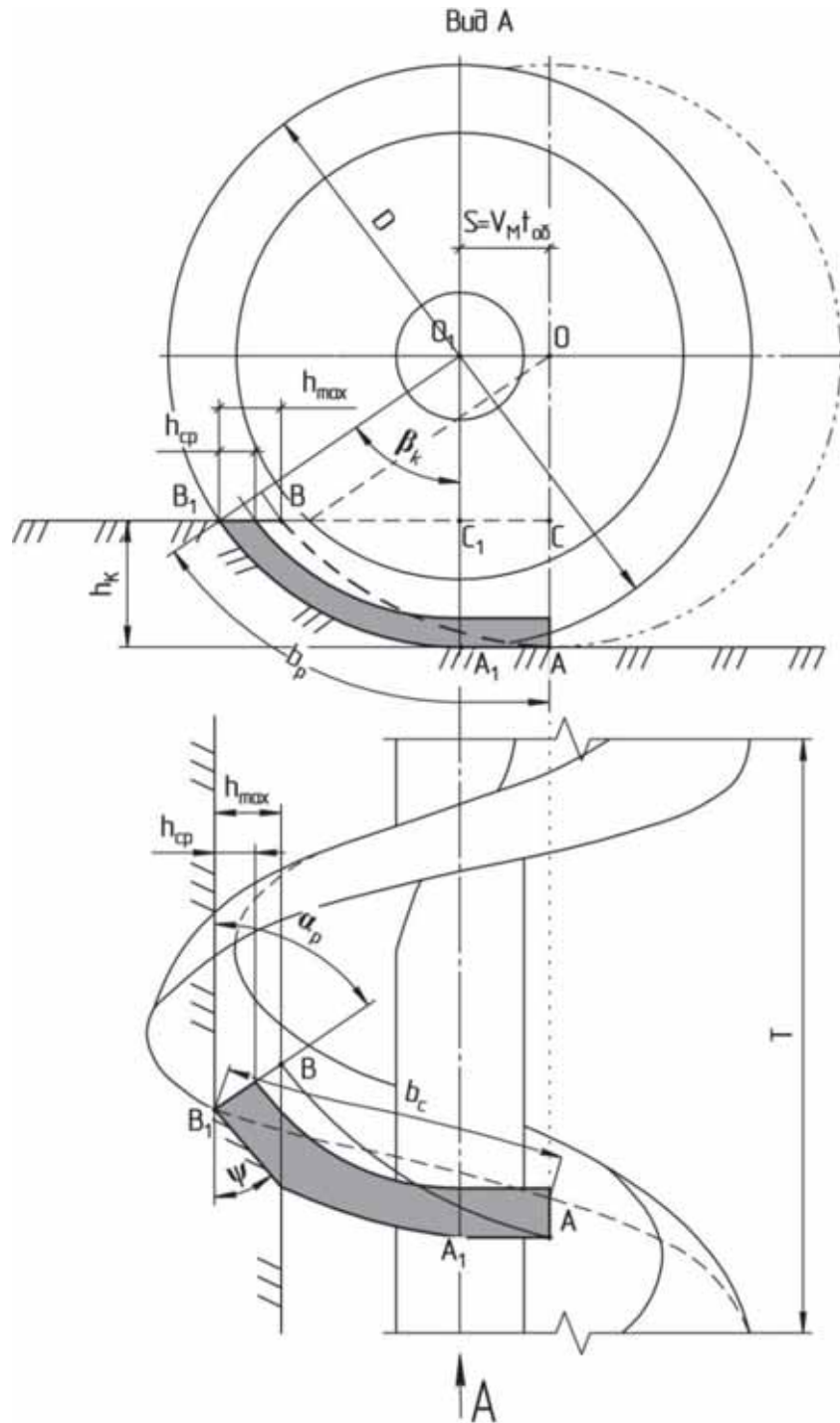
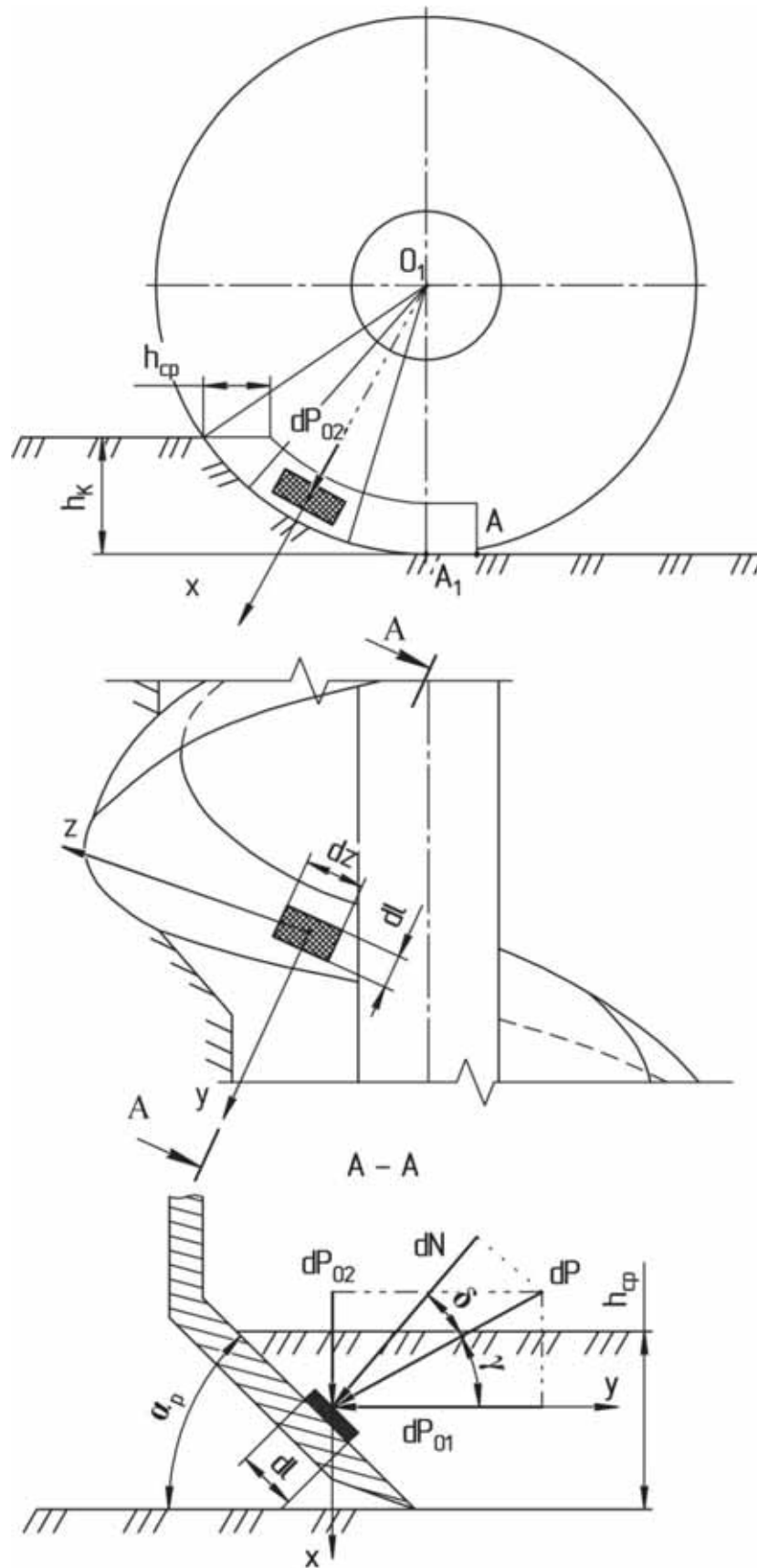


Рис. 1 – Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів ґрунтової стружки, що зрізується різальним ножем різально-метального робочого органа



**Рис. 2 – Розрахункова схема для визначення елементарних складових опор
різання ґрунту одиночним гвинтовим елементом робочого органа**

Складова сили тертя в площині, нормальній до осі обертання, що діє на один виток робочої поверхні різально-метального робочого органа, дорівнює

$$F_{\text{тп2}} = N \cdot \text{tg} \delta \cdot \cos \alpha_0. \quad (15)$$

Момент від нормальних складових сил тертя, що діють на витки робочого органа, відносно осі обертання

$$M_{\text{тп}} = z \frac{\text{tg} \delta \cdot \cos \alpha_0}{\sin \alpha_p} U(R - 0,5h_{\text{cp}}), \quad (16)$$

де z – кількість витків робочої поверхні різально-метального робочого органа.

Осьова сумарна складова опору різання дорівнює

$$W_{\text{ос}} = U \cos \alpha_0 (1 + \text{ctg} \alpha_p \text{tg} \delta) - \frac{\text{tg} \delta \sin \alpha_0}{\sin \alpha_p}. \quad (17)$$

Загальна горизонтальна складова опору різання складає

$$W_{01} = z \cdot U \left[\begin{array}{c} \cos \left(\frac{2}{3} \beta_k \right) (1 + \text{ctg} \alpha_p \text{tg} \delta) \sin \alpha_0 + \frac{\text{tg} \delta \cdot \cos \alpha_0 \cdot \cos \left(\frac{2}{3} \beta_k \right)}{\sin \alpha_p} - \\ - \text{ctg} \alpha_p \sin \left(\frac{2}{3} \beta_k \right) (1 - \text{tg} \alpha_p \text{tg} \delta) \end{array} \right]. \quad (18)$$

Момент опору на приводному валу робочого органа від сил різання ґрунту дорівнює

$$M_k = z \cdot P_{01}^2 (R - 0,5h_{\text{cp}}). \quad (19)$$

Повний момент опору на приводному валу робочого органа під час копання становить

$$M = z \cdot U \cdot (R - 0,5h_{\text{cp}}) \left[\sin \alpha_0 (1 + \text{ctg} \alpha_p \text{tg} \delta) + \text{tg} \delta \frac{\cos \alpha_0}{\sin \alpha_p} \right]. \quad (20)$$

Визначаємо енергоємність різання ґрунту від обертання робочого органа:

$$E_{\text{об}} = \frac{2\pi M}{Z h_k T t_{\text{об}} V_M (1 - K_H)}. \quad (21)$$

Енергоємність різання ґрунту від поздовжнього руху робочого органа дорівнює

$$E_n = E_n = \frac{W_{01}}{Z h_k T}. \quad (22)$$

Повна енергоємність різання ґрунту становить

$$E_p = E_{\text{об}} + E_n. \quad (23)$$

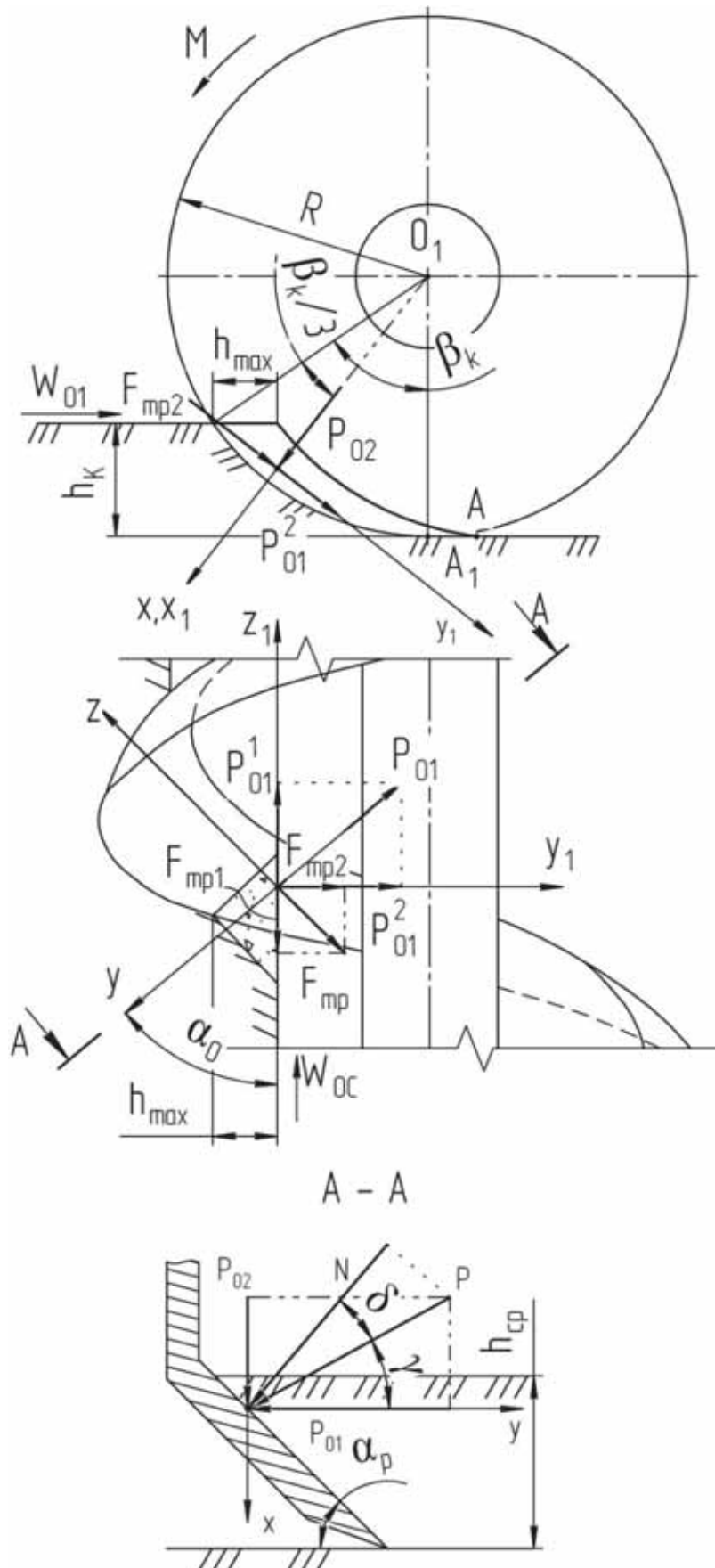


Рис. 3 – Схема дії повних сил опору

Результати теоретичних досліджень процесу різання ґрунту різально-метальним робочим органом наведено у графічних залежностях на рисунках 4 – 8.

З аналізу залежності (23) енергоємності E_p процесу різання ґрунту від частоти обертання n випливає, що енергоємність значно змінюється залежно від швидкості пересування V_m , при меншому значенні діаметра робочого органа, а саме $D = 0,6$ м, що видно на рис. 4. При більшому значенні діаметра $D = 0,8$ м з'являється розбіжність енергоємності, але вона не значна та не перевищує $0,8$ кНм/м³.

Існує раціональне значення частоти обертання n , після якого значення енергоємності змінюється повільно. Так, при $D = 0,8$ м та $V_m = 0,1$ м/с після перевищення частоти обертання n робочого органа більш ніж $n = 90$ хв⁻¹, енергоємність незначно змінюється.

Початок графіків на рисунку 4 відповідає мінімальній частоті обертання n_{min} , при якій допустима висота незрізаного ґрунту не перевищує

$$[h] \leq 0,05h_k. \quad (24)$$

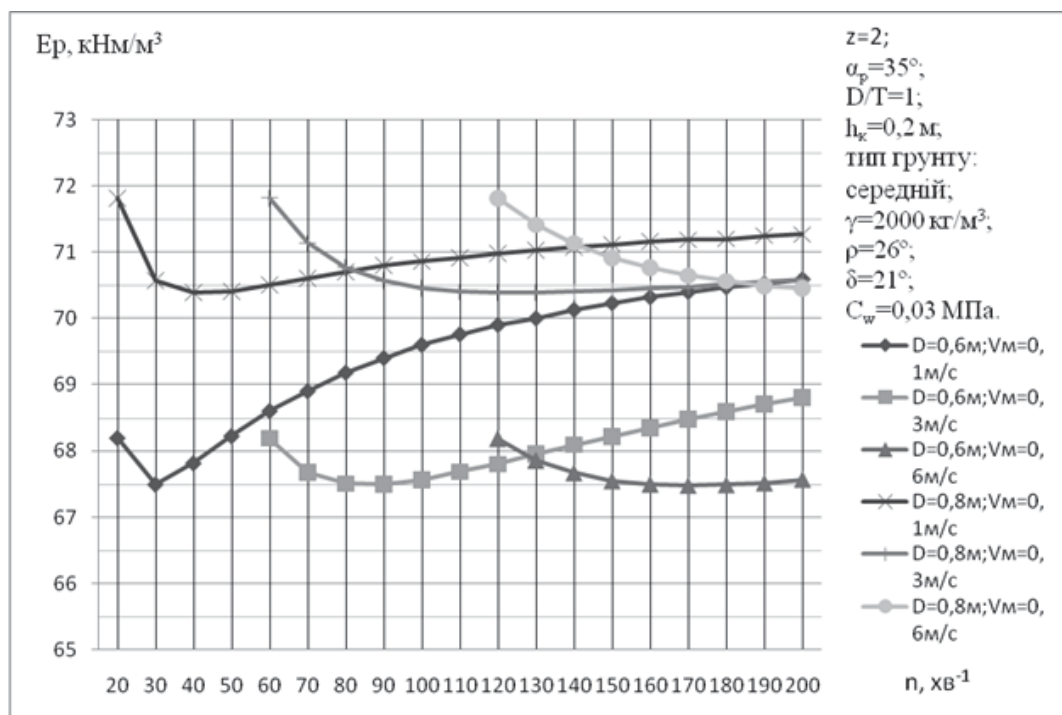


Рис. 4 – Графік залежності енергоємності різання ґрунту E_p від частоти обертання n

Виходячи з графіка, зображеного на рисунку 5, можна зробити висновок, що на момент (20) суттєво впливає діаметр робочого органа D . З графіка видно, що при сталих обертах робочого органа n , швидкості пересування V_m робочий орган з діаметром $D = 0,8$ м має більший крутний момент, ніж з діаметром $D = 0,6$ м, на 10%. Аналіз графіка на рисунку 4 дає змогу встановити, що при сталих обертах робочого органа енергоємність

зменшується зі зростанням поступової швидкості робочого органа. Аналогічна закономірність спостерігається і на рисунку 5.

Вплив відношення D/T на енергоємність E_p (23) наведено на рисунку 6. Графік свідчить про те, що найменша енергоємність спостерігається при співвідношенні $D/T = 0,6$, а найбільша при $D/T = 2$, і різниця між ними становить 51%.

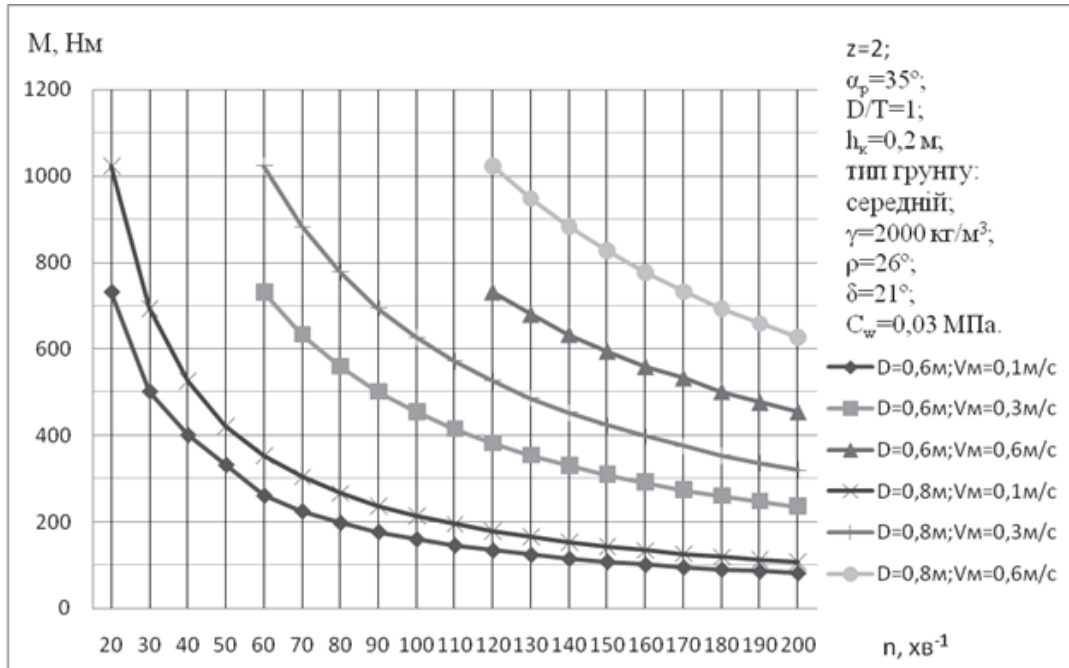


Рис. 5 – Графік залежності моменту опору різання на приводному валу M від частоти обертання n

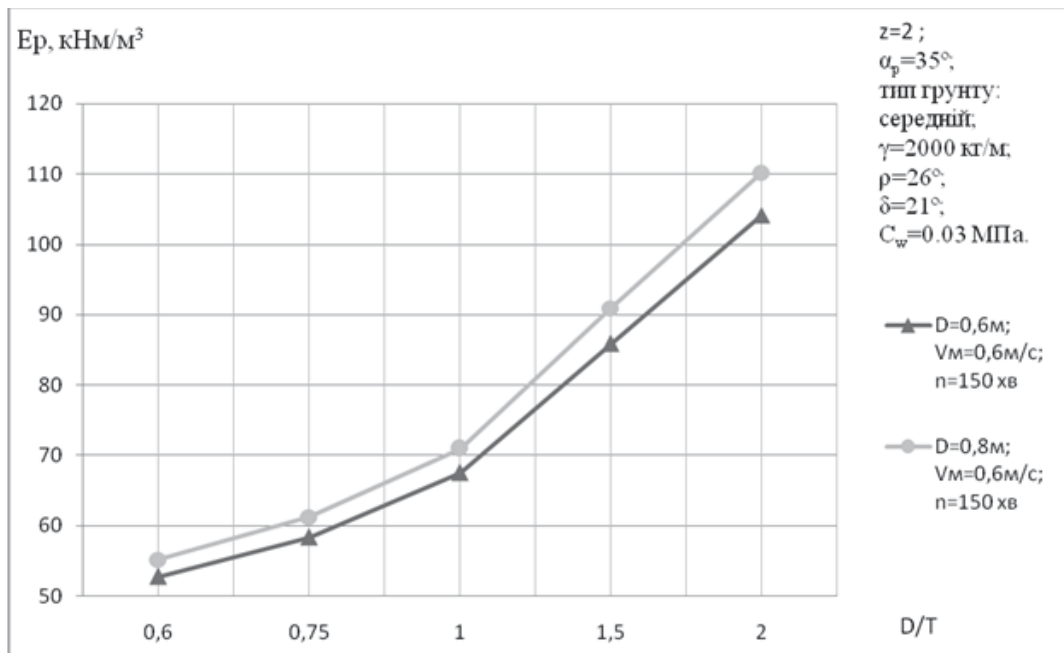


Рис. 6 – Графік залежності енергоємності E_p різання ґрунту від співвідношення D/T при $h_k = 0,2 \text{ м}$

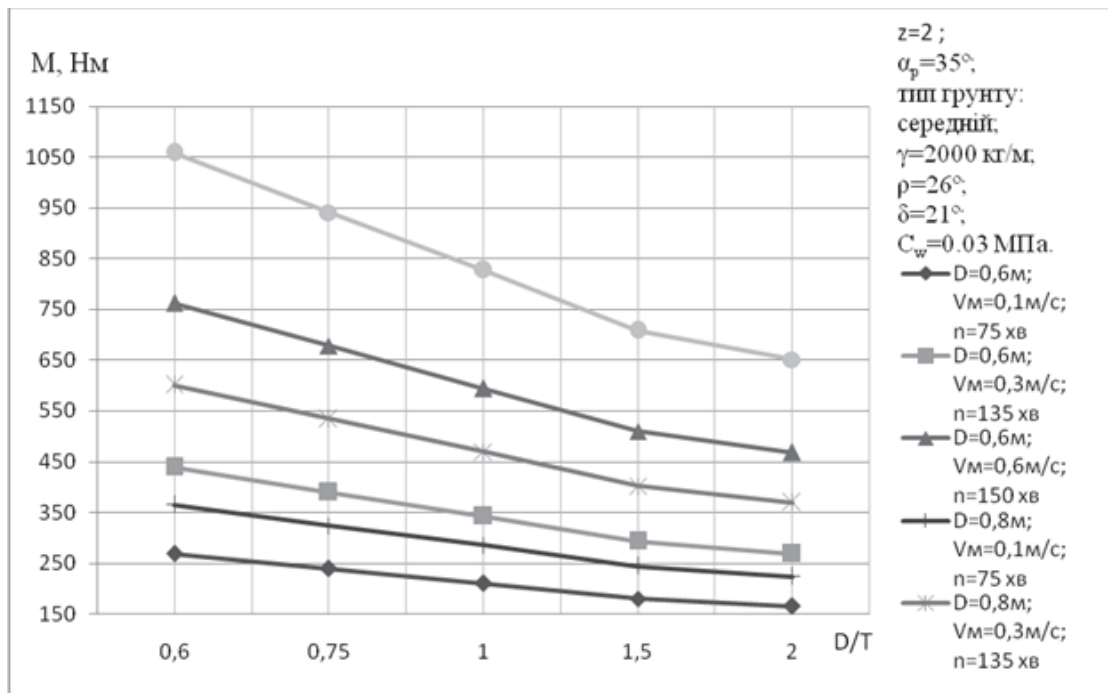


Рис. 7 – Графік залежності моменту опору різання на привідному валу M від співвідношення D/T при $h_k = 0,2 \text{ м}$

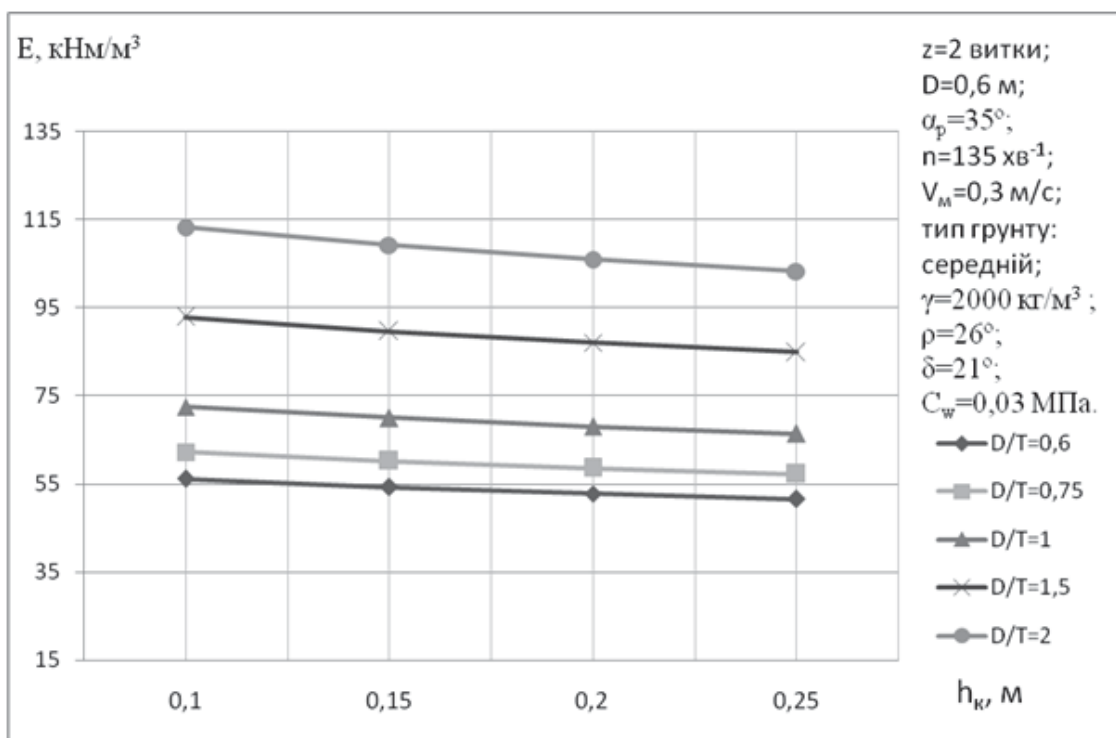


Рис. 8 – Графік залежності енергоємності різання ґрунту E_p від глибини копання при $D = 0,6 \text{ м}$

Енергоємність процесу різання при сталих V_m та n дав змогу встановити, що зі зменшенням кроку робочої поверхні T енергоємність E підвищується. Пояснюється це тим, що складова сили тертя в площині, нормальній до осі обертання робочого органа, яка виникає в напрямі

підйому робочої поверхні, збільшується. Діаметр робочого органа не суттєво впливає на енергоємність.

Графік залежності моменту опору різанню M (20) на привідному валу від співвідношення D/T при $h_k = 0,2$ м подано на рисунку 7. Мінімальні значення моменту M відповідають найменшому значенню швидкості $V_m = 0,1$ м/с у всьому діапазоні зміни відношення D/T . При цьому збільшення моменту M при $D = 0,8$ м порівняно з $D = 0,6$ м складає 25%. Суттєве збільшення моменту M відбувається при зростанні V_m . Так, при діаметрі $D = 0,8$ м співвідношення $D/T = 1$, крутний момент M при $V_m = 0,6$ м/с більший, ніж при $V_m = 0,1$ м/с, утричі.

На рисунку 8 наведений графік залежностей енергоємності різання ґрунту (23) від глибини копання при $D = 0,6$ м. Отримані залежності дають змогу стверджувати, що енергоємність зі збільшенням значення D/T від 0,6 до 2 зростає на 50% при інших рівних умовах взаємодії з ґрунтом. У цьому випадку значення діаметра суттєво не впливають на енергоємність процесу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. На підставі теорії граничного стану сипкого середовища розроблені математичні моделі визначення опору та енергоємності різання ґрунту гвинтовим ножем різально-метального робочого органа, які враховують фізико-механічні властивості ґрунту, геометричні параметри гвинтового ножа, кінематичні параметри робочого процесу та умови взаємодії робочого органа з ґрунтом.

Література

1. Голубченко О.І. Огляд та пропозиції конструкції активного робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії / О.І. Голубченко, М.Е. Хожило // Вісник ДВНЗ ПДАБА. – Д.: ПГАСА, 2011. – № 6 – 7. – С. 48 – 55.
2. Автомобільні дороги: будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт: навч. посіб. Ч.1 / Л.А. Хмара, О.С. Шипілов, В.Д. Мусійко, М.П. Кузьмінець. – К.; Д.: НТУ, 2011. – 416 с.
3. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Ничке та ін. / – [За заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця]. – Рівне – Дніпропетровськ. – Харків, 2010. – 557 с.
4. Голубченко О.І. Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидального типу для землерійно-транспортних машин безперервної дії / О.І. Голубченко, М.Е. Хожило // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. – Д.: ПДАБА, 2010. – Вып. 57. – С. 36 – 45.
5. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие [для студентов высш. учеб. заведений] / В. И. Баловнев. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.

Надійшла до редакції 07.04.2014

©М.Е. Хожило