УДК 624.132.3

Кирикович В. Д., к.т.н., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ РОЗРОБКИ ҐРУНТУ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Наведена методика розрахунку параметрів і енергетичних показників фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі.
Ключові слова: критична глибина, суспензування, змішувальна поверхня, водне середовище.

Постановка проблеми. На даний час відомий гідромеханічний спосіб вилучення корисних копалин з поверхневих родовищ, який вимагає ефективного механічного збудження масиву у водному середовищі при якому підйом корисних копалин, за наявності води, шляхом механічного збурення масив переводиться в стан суцільного суспензного шару. При цьому корисні копалини вивільняються від зв'язків із середовищем і за рахунок різниці густини під дією виштовхувальної сили спливають на поверхню або осідають на дно [1, 2, 3].

Таким чином, створена нова конструкція фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі [1], який забезпечує руйнування ґрунту з насиченням і перемішуванням його з водою до суспензного стану є актуальним і важливим науково-технічним рішенням, що потребує розробки загальної методики розрахунку основних параметрів і енергетичних показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз наукових публікацій фрезерні робочі органи характеризуються складним процесом копання, який залежить від геометричних, кінематичних, силових і енергетичних параметрів, а також показників, які обумовлені фізичними особливостями руйнування ґрунту у водному середовищі. Дослідження показують, що процес копання залежить від властивостей ґрунту як робочого середовища, конструкції робочого органа і умов взаємодії робочого органа з ґрунтом [4, 5].

Слід відмітити, що лише поодинокі публікації вітчизняних дослідників [6-11] представляють можливість розраховувати окремі параметри фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі.

Мета роботи – розробити методику інженерного розрахунку основних параметрів і енергетичних показників фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі.

Викладення основного матеріалу. Методика розроблена на основі проведених досліджень і використовується для визначення основних параметрів і потужності, необхідної для робочого процесу фрезерного робочого органа, що розробляє ґрунт під дією водного середовища.

Орієнтуючись на середні статистичні розміри кусків бурштину і вплив кількості обертів за прохід на якість суспендування, вибираємо товщину зрізу. Вважаючи максимальну товщину стружки критичною, для неї визначаємо ширину ножа:

$$b_{c.i} = -h_к \frac{\left[\begin{array}{l} 3tg\varphi_o \rho_c g h_{н.ф}(ctg\alpha_p + ctg\psi)ctg\gamma\cos\psi + c\rho(ctg\alpha_p + ctg\psi)/\sin\psi + \\ +4c\cdot ctg\gamma/\sin\psi + c(ctg\alpha_p + ctg\psi)\dfrac{\cos\delta}{\cos\lambda_o} + 3\rho_c g h_{н.ф}(ctg\alpha_p + ctg\psi)ctg\gamma\sin\psi \end{array}\right]}{\left[\begin{array}{l} -tg\varphi_o \dfrac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos\varphi\sin\alpha_p}(2q_o + (q_{кр} - q_o)k_{пер}) + 2\rho_c g h_{н.ф}(ctg\alpha_p + ctg\psi)\times \\ \times(tg\varphi_o\cos\psi + \sin\psi) + \dfrac{3c}{\sin\psi} - \dfrac{\sin(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos\varphi\sin\alpha_p}(2q_o + (q_{кр} - q_o)k_{пер}) \end{array}\right]} \quad (1)$$

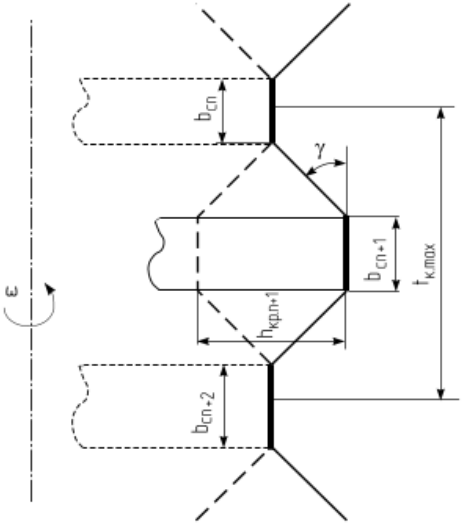

Рис. 1. Схема розстановки ножів

Знаючи взаємну залежність критичної глибини і ширини ножів та враховуючи модель руйнування ґрунту при взаємодії з ножем, макси-

мальний крок між ножами одного заходу визначаємо залежністю

$$t_{к.\max} = \frac{b_{сп}}{2} + b_{сп+1} + \frac{b_{сп+2}}{2} + \frac{h_{кр.n+1}}{tg\gamma}. \qquad (2)$$

Одним з найважливіших геометричних параметрів руйнівних елементів фрези є центральна лінія змішувальної поверхні, яка визначається залежністю

$$\left(\frac{R_{тех}}{2\cos\alpha}\right)^2 = \left(x - \left(-\frac{R_{тех}}{2} tg\alpha\right)\right)^2 + \left(y - \frac{R_{тех}}{2}\right)^2. \qquad (3)$$

З врахуванням геометричних параметрів фрези та фізики процесу розробки ґрунту, потужність робочого процесу визначається залежністю

$$N = \sum_{1}^{z} N_i = N_{різ} + N_{пер} + N_{тр}. \qquad (4)$$

Потужність, що витрачається на процес різання фрезою у водному середовищі, визначаються залежністю

$$N_{різ} = k_e \cdot \sum_{i=1}^{i=z} N_{i.різ}. \qquad (5)$$

Зважаючи на те, що потужність на різання складається з суми потужностей в будь-який момент часу, таку залежність можна виразити

$$N_{i.різ} = P_i \cdot V_a, \qquad (6)$$

де абсолютна швидкість різання визначається як

$$V_a = \sqrt{V_e^2 + V_r^2 + 2V_eV_r\cos\varphi_2}, \qquad (7)$$

а опір різання одним ножем залежністю

$$P_i = k\left(h_i \cdot b_{ci} + \frac{h_i^2}{2tg\gamma}\right). \qquad (8)$$

Питома сила руйнування ґрунту від площі стружки визначається залежністю

$$k = \left\{2(tg\varphi_0 \cdot \cos\psi + \sin\psi)\left[\cos\psi \cdot \rho_c \cdot g \cdot h_{н.ф.}(ctg\alpha_p + ctg\psi)\left(b_{ci} + \frac{3}{2}ctg\gamma \cdot h_к\right) - \right.\right.$$
$$- \frac{b_{ci} \cdot \cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos\varphi \cdot \sin\alpha_p}\left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2}k_{пер}\right)\Bigg] + c \cdot ctg\psi(3b_{ci} + \rho(ctg\alpha_p + ctg\psi)h_к + \qquad (9)$$
$$\left. + 4ctg\gamma \cdot h_к) + \frac{c \cdot \cos\delta \cdot \cos\psi(ctg\alpha_p + ctg\psi)h_к}{\cos\lambda_o}\right\} / \left(2b_{ci} + \frac{2h_к}{tg\gamma}\right).$$

Тоді, як товщина стружки в будь-який момент часу, в залежності від геометричних та швидкісних параметрів ножів, визначається наступним чином:

$$h_i = r\left[1 - \frac{\frac{1}{\lambda}\left\{\left(k_1\varphi_2^3 - k_2\varphi_2^2 + k_3\varphi_2 + k_4\right) - \varphi_2 - \frac{2\pi}{Z}\right\} + \sin\left(k_1\varphi_2^3 - k_2\varphi_2^2 + k_3\varphi_2 + k_4\right)}{\sin\varphi_2}\right] \quad (10)$$

де відношення швидкостей

$$\lambda = \frac{V_r}{V_e}; \quad (11)$$

кут повороту ножа, що відповідає максимальній товщині стружки

$$\varphi_{2ф} = \frac{2{,}818}{\lambda Z} + 1{,}541; \quad (12)$$

імперичні коефіцієнти

$$k_1 = \frac{0{,}773}{Z\lambda} + 0{,}0023; \quad (13)$$

$$k_2 = \frac{4{,}095}{Z\lambda} + 0{,}0038; \quad (14)$$

$$k_3 = \frac{0{,}758}{Z\lambda} + 0{,}998; \quad (15)$$

$$k_4 = \frac{5{,}894}{Z\lambda} + 0{,}0038. \quad (16)$$

Визначення потужності на перемішування з урахуванням кількості руйнівних елементів Z, що одночасно діють у суспензії виражається залежністю

$$N_{пер} = \sum_{i=1}^{i=z} N_{i.пер}, \quad (17)$$

де потужності на перемішування однією лопаттю

$$N_{i.пер} = M_i\omega, \quad (18)$$

що, в свою чергу, залежить від крутного моменту на лопаті і виражається залежністю

$$M_i = 2c'\rho_c b_i R_{пов}^4 \omega^2 \cos^4\alpha, \quad (19)$$

де радіус поверхні лопаті

$$R_{пов} = \frac{R_{тех}}{2\cos\alpha}. \quad (20)$$

Потужність на переміщення базової машини визначається залежністю

$$N_{тр} = \frac{W \cdot V_e}{\eta_б}, \tag{21}$$

де тяговий опір на переміщення базової машини визначається залежністю

$$W = \left(G_T + G_{р.о}\right) \cdot \left(f_0 \pm i\right). \tag{22}$$

Технічна продуктивність визначається залежністю

$$П_{тех} = V_e H d V_б. \tag{23}$$

Отже, в результаті розробки методики інженерного розрахунку фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі було розроблено послідовність визначення параметрів фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі.

Прийняті позначення. $V_б$ – маса бурштину в 1м^3 ґрунту; c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; φ, φ_o – відповідно кут зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту; f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = tg\varphi$); $\gamma_{гр}$ – питома вага ґрунту в природному стані; h_c – середня глибина сколювання ґрунту в ярусі; q_o, $q_{кр}$ – відповідно мінімальний і максимальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа по глибині; ψ – кут поздовжнього зсуву ґрунту; $h_{к1}$, $h_{к2}$ – критична глибина різання ярусів; $k_{пер}$ – відношення глибини гарантованого сколу ґрунту до критичної глибини різання; b_c – ширина ріжучої частини верхнього ножа; ρ_c – густина суспензного середовища; $h_{н.ф}$ – глибина занурення ножа фрези; g – прискорення вільного падіння; k – питомий опір різання; α_p – кут різання ножів; ρ, δ, λ_o – кути, які утворюються боковою площиною сколювання з вертикальною площиною; A_1 – коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і геометричних параметрів ножа; N – загальна потужність фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі; $N_{різ}$ – потужність, яка витрачається на різання ґрунту; $N_{пер}$ – потужність, яка витрачається на перемішування ґрунту до суспензного стану; $N_{тр}$ – потужність на переміщення базової машини; z – кількість ножів в забої; k_e – коефіцієнт енергомісткості; P_i – опір різання ножем;

V_a – абсолютна швидкість; φ_2 – кут повороту ножа, при якому відбувається процес різання (φ_2=0…π); V_e, V_r – відповідно переносна швидкість фрези і колова швидкість різальної кромки ножа; γ – кут бокового розширення ґрунту; b_{ci} – поточна ширина ножа; k – питома сила різання; h_i – товщина стружки в будь-який момент часу; φ_2 – кут повороту ножа відносно початку координат наступної трохоїди в момент дотику ріжучої кромки ножа; N_i – потужність на одній лопаті; M_i – момент на обертання однієї лопаті; ω – кутова швидкість обертання лопаті; α – кут різання ножів; λ – відношення переносної швидкості фрези до колової швидкості різальної кромки ножа; c' – коефіцієнт опору, що враховує всю сукупність явищ, які виникають у результаті руху пластини в змішувальному середовищі; b – висота лопаті; η_δ – коефіцієнт корисної дії трансмісії базової машини; W – опір переміщення базової машини; G_T – маса базової машини; $G_{p.o}$ – маса робочого обладнання; f_0 – коефіцієнт опору переміщення ходового обладнання; i – похил місцевості; R_{mex} – технологічний радіус; H – глибина копання; d – діаметр фрези.

1. Кирикович В. Д. Дослідження оптимальної структури робочого процесу добування бурштину гідрофрезою / В. Д. Кирикович // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 4 (40). – Ч. 3. – С. 120-125. **2.** Романовський О. Л. Перспективні технології і засоби підйому бурштину на поверхню родовища / О. Л. Романовський, В. Я. Корнієнко // Вісник РДТУ. – 1999. – Вип. 2. – Ч. 3. – С. 178-180. **3.** Пат. 62709 Україна, МПК E21C45/00. Робочий орган землерийної машини для добування корисних копалин / Кравець С. В., Романовський О. Л., Нікітін В. Г., Кирикович В. Д.; заявник і патентоволодар Український державний університет водного господарства та природокористування (Україна). – № 2003054138; заявл. 08.05.2003; опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6. **4.** Станевский В. П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин / В. П. Станевский. – К. : Вища школа, 1984. – 128 с. **5.** Кирикович В. Д. Підвищення ефективності фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.04 “Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт” / В. Д. Кирикович. – Дніпропетровськ, 2012. – 20 с. **6.** Кравець С. В. Вплив гідростатичного тиску на критичну глибину при комбінованому поярусному різанні ґрунту / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, В. Д. Кирикович, І. М. Музичук // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 3(39). – Ч. 2. – С. 236-243. **7.** Кравець С. В. Визначення параметрів

стружки землерийної машини для добування корисних копалин / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, В. Д. Кирикович // Вісник НУВГП. – 2005. – Вип. 4(32). – Ч. 1. – С. 176-183. **8.** Кравець С. В. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой / С. В. Кравец, А. Л. Романовский, В. Д. Кирикович, С. С. Шварапа // Строительные и дорожные машины. – 2010. – № 5. – С. 47-49. **9.** Кирикович В. Д. Дослідження оптимальної структури робочого процесу добування бурштину гідрофрезою / В. Д. Кирикович // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 4(40). – Ч. 3. – С. 120-125. **10.** Романовський О. Л. Дослідження форми й енергетичних показників змішувальної поверхні гідрофрезерного витягача бурштину з родовища / О. Л. Романовський, В. Д. Кирикович, І. М. Крижовець // Вісник НУВГП. – 2006. – Вип. 2(34). – Ч. 2. – С. 126-131. **11.** Кравець С. В. Сили і параметри фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, В. Д. Кирикович, А. А. Нечидюк // Сборник научных трудов “Строительство, материаловедение, машиностроение”. – 2011. – Вип. № 63. – С. 78-84.

Рецензент: д.т.н., професор Кравець С. В. (НУВГП)

Kyrykovych V. D., Candidate of Engineering, Senior Lecturer (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

CALCULATION OF ENERGY WORKING MILLING BODIES FOR THE DEVELOPMENT OF SOIL IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

The method of calculating the energy performance parameters and milling working body for the development of soil in the aquatic environment is given.
Keywors: critical depth, suspension, mixing the surface water environment.

Кирикович В. Д., к.т.н., старший преподаватель (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

РАССЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Приведенная методика расчета параметров и энергетических показателей фрезерного рабочего органа для разработки грунта в водной среде.
Ключевые слова: критическая глубина, суспензирование, смешивающая поверхность, водная среда.