

**MODELING OF THE PROCESS OF RECLAMATION MACHINE OPERATION
DURING SOIL FILLING****A. Shymko^{1*}, O. Bundza¹, V. Martyniuk²**¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*²*Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Reclamation is an important factor of intensification of agricultural production and scientific and technical progress in agriculture. The main goal of agricultural reclamation is to create optimal conditions for the production of agricultural products. Hydromelioration is one of the most time-consuming and widespread forms of land reclamation, i.e., it is a set of measures and structures that ensure the improvement of the natural conditions for agricultural land use by regulating the water regime of soils. Canals are the main elements of reclamation systems. Ensuring the quality operation of channels with the required bandwidth guarantees the effective operation of the entire reclamation system. The article describes the operation of a rotary soil distributor. It has been studied that the quality of the machine's operation is ensured by selecting the design parameters of the rotor blades, their installation angles, the position of the directional ejection nozzle and the value of the linear speed of soil ejection. The soil on the slope is spread with a fan-like jet evenly over the entire length of the ejection. The law of movement of the soil through the blade has been established as a function of a number of geometric and kinematic parameters: the angle of installation of the blade; the length, width and curvature of the blade; the speed of rotation of the rotor. The dimensions of the spreading belt were determined. It has been studied that the main requirement for metal distributors is the uniformity of soil distribution along the entire length of the throw. To meet this requirement, the rotor alternates flat and curved blades. Thanks to this, it is possible to extend the range of changes in the magnitude and direction of the absolute speed of throwing at a constant frequency of rotation of the rotor.

Key words:

reclamation machines,
channel cleaning technology,
soil,
reclamation channel,
channel slopes

Article history:

Received 22.05.2024

Accepted 18.06.2024

***Corresponding author:**

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi50.1385**To cite this article:**

Shymko, A., Bundza, O., & Martyniuk, V. (2024). Modeling of the process of reclamation machine operation during soil filling. *Agricultural Machines*, 50, 98-103. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1385>

УДК 631.6

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ МЕЛІОРАТИВНИХ МАШИН
ПРИ ВІДСИПАННІ ҐРУНТУ****А.В. Шимко^{1*}, О.З. Бундза¹, В.Л. Мартинюк²**¹Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна²Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С**
**М
М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Меліорація є важливим чинником інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та науково-технічного прогресу в сільському господарстві. Основною метою сільськогосподарської меліорації є створення оптимальних умов для виробництва продукції сільського господарства. Одним з найбільш трудомістких і поширених видів меліорації є гідромеліорація, тобто це сукупність заходів і споруд, що забезпечують поліпшення умов сільськогосподарського використання земель шляхом регулювання водного режиму ґрунтів. Канали є основними елементами меліоративних систем. Забезпечення якісної роботи каналів з необхідною пропускною здатністю гарантує ефективну роботу всієї меліоративної системи. У статті описано роботу роторного метальника-розподільника ґрунту. Досліджено, що якість роботи машини забезпечують, добираючи конструктивні параметри лопаток ротора, кути їх встановлення, положення напрямного викидного патрубку та значення лінійної швидкості викидання ґрунту. Ґрунт на укоси розкидають віялоподібним струменем рівномірно за всією довжиною викидання. Встановлено закон руху ґрунту лопаткою залежно від низки геометричних і кінематичних параметрів: кута встановлення лопатки; довжини, ширини та кривизни лопатки; швидкості обертання ротора. Визначено розміри смуги розкидання ґрунту. Досліджено, що основною вимогою до метальників-розподільників є рівномірне укладання ґрунту за всією довжиною викидання. Щоб задовольнити таку вимогу на роторі передбачено чергування плоских лопаток з зігнутими. Завдяки цьому вдається розширити діапазон зміни величини та напрямку абсолютної швидкості викидання за сталої частоти обертання ротора.

Ключові слова:

меліоративні машини,
технологія очищення каналів,
ґрунт,
меліоративний канал,
укоси каналів

Історія публікації:

Отримано 22.05.2024

Затверджено 18.06.2024

***Автор для листування:**

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi50.1385

Цитувати цю статтю:

Шимко, А. В., Бундза, О. З., & Мартинюк, В. Л. (2024). Моделювання процесу роботи меліоративних машин при відсіпанні ґрунту. *Сільськогосподарські машини*, 50, 98-103. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1385>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Механізація експлуатаційно-ремонтних робіт на меліоративних системах є непростю проблемою. Труднощі викликані насамперед різноманітністю природно-виробничих умов. Специфіка географічних зон, відмінності в геометричних розмірах каналів, розміщення їх на місцевості, питомі обсяги замулювання та наносів, щільність і характер заростання дна й укосів рослинністю спричиняють необхідність в комплексах спеціальних машин з широким діапазоном конструктивних схем та параметрів робочих органів (*Кошук та ін., 2015*).

У рамках проблеми АПК країни головне завдання всього комплексу меліорації та водного господарства полягає в підвищенні родючості ґрунтів без заподіяння шкоди навколишньому середовищу. При цьому вимоги, що висувуються до меліоративної техніки, призначеної для виконання системних цілей меліоративної сфери АПК, також повинні мати системний характер (*Гадзал та ін., 2017*). Використання меліоративних машин ускладнюють численні споруди на каналах, різний стан каналів та ускладнені підходи до каналів. Це може мати постійний характер, наприклад, близькість лісового масиву, будівель тощо, та тимчасовий характер. В останньому випадку обмеження, зазвичай, пов'язані з посівами, коли заорюються дороги вздовж каналів та берми аж до самих бровок.

Цілком очевидно, що під час комплектування парку машин потрібно враховувати всі основні виробничі та природні умови, а також провести оцінювання впливу усіх чинників на технологічні властивості очисних машин (*Лозовіцький, 2014*).

Необхідно розрізняти зони зрошення та осушення. Відмінності цих зон, з погляду механізації, досить значні. Це стосується номенклатури експлуатаційних операцій, конструктивних форм каналів, співвідношення їхніх геометричних розмірів, питомих обсягів очищення, видів рослинності, що засмічує русла, та додаткових обмежень, пов'язаних з шириною дамб, підходами до каналів, наявністю кріплень та антифільтраційних покриттів тощо (*Хмара & Кравець, 2014*).

Мета дослідження – математичне моделювання процесу відсіпання ґрунту на укіс великого каналу, що ремонтується, та

обґрунтування раціональних параметрів меліоративної машини для покращення технологічного процесу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проведені з використанням основних положень теоретичної механіки та математичного моделювання переміщення частинки матеріалу (ґрунту) поверхнею робочих органів машини.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У цій роботі поставлено завдання запропонувати та обґрунтувати комплекс машин для проведення експлуатаційно-ремонтних робіт на каналах, що обслуговують меліоративні системи в зоні осушення. Практика утримання меліоративних систем зони осушення показує, що експлуатаційні роботи необхідно розмежувати на щорічні та поточні ремонти, необхідність в яких виникає періодично (раз на кілька років). Основними причинами деформації і порушення пропускної спроможності зрошувальних каналів, особливо в початковий період експлуатації, є розмиви, замулення та заростання, а також вплив низьких температур, особливо в глинистих ґрунтах, й додаткові навантаження від кавальєрів та осідання ґрунту (*Войтюк та ін., 2004*).

В обслуговування меліоративних систем зони осушення входить: очищення русла, скошування і видалення рослинності, ремонт кріплень та одерновки, а також роботи, пов'язані з ремонтом споруд і доріг. Основні та найбільш трудомісткі операції технічного догляду за каналами необхідно повністю механізувати. Оптимальне розв'язання цієї проблеми зменшить витрати на експлуатацію меліоративних систем (*Назаренко та ін., 2004*). На сьогоднішній день цю проблему не можна вважати остаточно розв'язаною. Не зважаючи на велику номенклатуру нових машин, що випускаються, а також не зважаючи на безперервне кількісне зростання різної очисної техніки, експлуатаційники продовжують наполягати на створенні нових конструкцій машин, з огляду на виробничі та економічні міркування (*Сукач та ін., 2017*).

Під час ремонту сухих великих земляних каналів ґрунт відсіпають на зруйновану ділянку укосу за схемою «знизу – вверх». При

цьому поліпшується якість робіт внаслідок правильного візуального огляду площ, що ремонтуються. Потрібний ґрунт беруть з дна каналу у вигляді суміші донних наносів з підстильним ґрунтом. Для впровадження відповідної технології використовують роторний металник-розподільник. Якість робіт забезпечують, добираючи конструктивні параметри лопаток ротора машини, кути їх встановлення, а також положення напрямного викидного патрубка та лінійної швидкості викидання. Ґрунт на укоси розкидають віялоподібним струменем рівномірно за всією довжиною викидання. Розрахункову схему металника-розподільника подано на **рис. 1**. Теоретичний аналіз роботи таких металників-розподільників містить два етапи:

1) згідно з законом руху ґрунту по лопатці (залежно від низки геометричних та кінематичних параметрів: кута встановлення лопатки; довжини, ширини та кривизни лопатки; швидкості обертання ротора) визначають величину вектору швидкості викидання ґрунту з ротора машини, а також максимальний кут розвантаження;

2) за відомими швидкістю та напрямком викидання встановлюють розміри смуги розкидання.

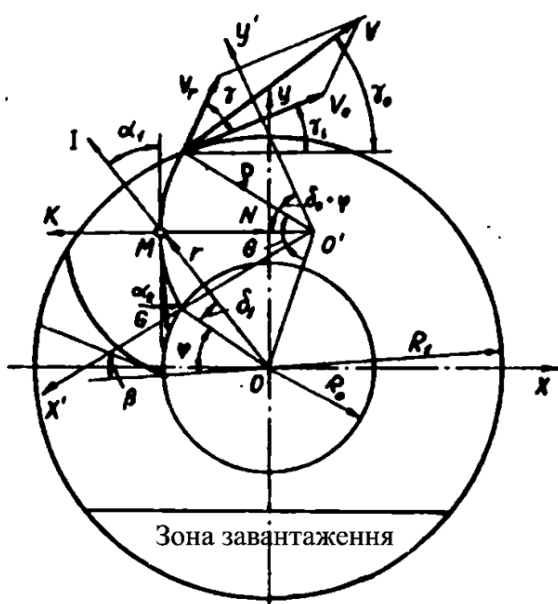


Рис. 1 – Розрахункова схема металника-розподільника ґрунту з зігнутою лопаткою (R_0 та R_r – відповідно, внутрішній та зовнішній радіуси лопатки; r – змінне значення радіуса повороту частинки ґрунту)

Основною вимогою до металників-розподільників є рівномірне укладання ґрунту за всією довжиною викидання. Щоб задовольнити умову, на роторі передбачене чергування плоских лопаток з зігнутими, завдяки чому вдається розширити діапазон зміни величини та напрямку абсолютної швидкості викидання за сталої частоти обертання ротора.

Частинка ґрунту, що надійшла на лопатку, під дією відцентрової сили рухається вздовж лопатки зі зростаючою швидкістю та, досягнувши краю викидного вікна, залишає ротор, набувши певної кількості кінетичної енергії. Ця енергія визначається масою частинки ґрунту m і її абсолютною швидкістю V , яка дорівнює геометричній сумі переносної V_e та відносної V_r швидкостей. На частинку, яка досліджується, розміщену в точці M (**рис. 1**), діють відцентрова сила I , сила тертя F , власна вага G , сила Коріоліса K та нормальна сила N . На рівномірність розподілу ґрунту за довжиною викидання істотно впливають початкові параметри викиданих з ротора частинок, тобто швидкість V_0 і кут γ_0 викидання, які, в свою чергу, залежать від радіуса кривизни лопатки ρ , кута встановлення лопатки β та кутової швидкості ротора ω . Рівняння руху частинки ґрунту лопаткою:

$$\begin{cases} \frac{mdV}{dt} = P_\tau - Nf; \\ \frac{mV^2}{\rho} = N - P_N; \end{cases} \quad (1)$$

де

$$P_\tau = I \cos \alpha_1 - G \cos \alpha_2; \quad (2)$$

$$P_N = K + I \sin \alpha_1 - G \sin \alpha_2; \quad (3)$$

$$K = 2mV\omega; \quad (4)$$

$$I = m\omega^2 r; \quad (5)$$

$$G = mg. \quad (6)$$

З другого рівняння системи (1) матимемо:

$$N = \frac{mV^2}{\rho} + K + I \sin \alpha_1 - G \sin \alpha_2. \quad (7)$$

Підставивши рівняння (7) у перше рівняння системи (1) та врахувавши значення K , I й G , матимемо:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} + 2fm\omega V + fm \frac{V^2}{\rho} = \\ = mr\omega^2 (\cos \alpha_1 - f \sin \alpha_1) - \\ - mg (\cos \alpha_2 - f \sin \alpha_2). \end{aligned} \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту по лопатці.

Швидкість частинки ґрунту:

$$V = \frac{ds}{dt} = \rho \frac{d\vartheta}{dt} = \rho \frac{d\vartheta}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \rho \omega \frac{d\vartheta}{d\varphi}, \quad (9)$$

де s – довжина дуги лопатки; ϑ – змінний кут дуги лопатки; φ – кут повороту лопатки за час t .

Підставивши вираз (9) у рівняння (8), після перетворень отримаємо узагальнене рівняння руху частинки ґрунту зігнутою лопаткою:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\vartheta}{d\varphi^2} + 2f \frac{d\vartheta}{d\varphi} + f \left(\frac{d\vartheta}{d\varphi} \right)^2 = \frac{1}{\rho} \sqrt{1+f^2} \times \\ \times [r \cos(\delta_0 + \vartheta + \varphi_1 - \alpha_1 - \delta_1) - \\ - \frac{g}{\omega^2} \sin(\delta_0 + \vartheta + \varphi_1)], \end{aligned} \quad (10)$$

де $\varphi_1 = \arctg f$.

Після визначення швидкості та кута викидання з ротора машини частинок ґрунту обчислюють ширину та товщину шару ґрунту, який розкидається на укоси. Ґрунт з лопатки розвантажують за такою схемою: у момент підходу лопатки до викидного вікна порція ґрунту, що перебуває безпосередньо біля внутрішньої поверхні кожуха, вилітає з деякою

швидкістю V_0 та кутом нахилу γ_0 до укосу каналу (рис. 2). На її місце переміщується наступна порція ґрунту. За цей час лопатка повертається в зоні розвантажувального вікна на деякий кут ωt . Тому нова порція отримує інший напрямок викидання, тобто кут γ змінюється. Отже, поділяємо весь об'єм ґрунту, що міститься на лопатці, на велику кількість порцій ($n \rightarrow \infty$) та одержуємо схему рівномірного процесу розвантаження ґрунту з ротора.

Деяка частина ґрунту вилітає з ротора під дією відцентрової сили, причому початкові параметри таких частинок не залежать від кута встановлення лопатки та її радіуса кривизни. Для напрямленого викидання ґрунту з ротора машини необхідно встановити регульовальний викидний (напрямний) патрубков.

Дальність вильоту частинки ґрунту, яка перебуває на лопатці, можна визначити за рівняннями:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -R \cos \gamma - mg \sin \alpha_0; \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -R \sin \gamma - mg \cos \alpha_0; \end{cases} \quad (11)$$

де α_0 – кут нахилу укосу каналу до горизонтальної площини.

Враховуючи, що сила опору повітря рівна $R = K\vartheta^2$ ($\vartheta^2 = x^2 + y^2$; $K = e^{-a\vartheta}$; $a = 0,25$), систему (11) можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m} \cdot \frac{dx}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = -g \sin \alpha_0; \\ \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{K}{m} \cdot \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = -g \cos \alpha_0. \end{cases} \quad (12)$$

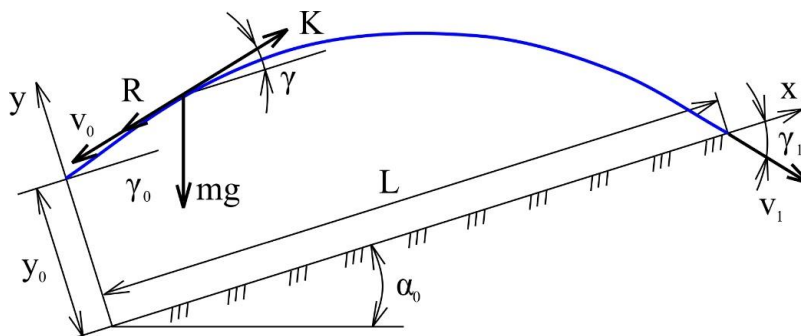


Рис. 2 – Розрахункова схема руху частинки ґрунту під час його викидання на укіс

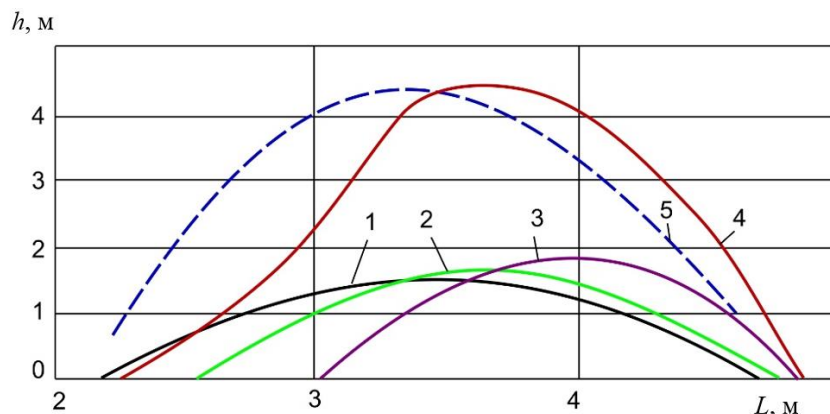


Рис. 3 – Розподіл шару ґрунту товщиною h на поверхні укосу залежно від кута встановлення лопатки: 1 – $\beta = +10$ град; 2 – $\beta = 0$ град; 3 – $\beta = -10$ град; 4 – інтегральна крива; 5 – експериментальна крива

Визначивши координати x та y (за початкових умов $t = 0$: $x = x_0$; $y = y_0$), можна розрахувати траєкторію польоту ґрунту.

Описана математична модель була реалізована з використанням комп'ютерного моделювання. Результати розрахунку подано на **рис. 3**. Найближче до металевого апарату розподіляється порція ґрунту, що злетіла з лопатки, встановленої під додатним кутом β (крива 1); порція ґрунту, яка злетіла з лопатки, встановленої під від'ємним кутом β , відкидається значно далі (крива 3). Зближення правих частин кривих, тобто далеких меж зон розкидання ґрунту, пояснюється тим, що при підході до розвантажувального вікна частина ґрунту злітає з лопатки та викидається під кутом встановлення напрямного патрубку, при цьому згладжується вплив кута β на розподіл ґрунту. З цієї самої причини права частина інтегральної кривої 4 має крутіший схил, ніж ліва. Експериментальні дані (крива 5) добре узгоджуються з теоретичними розрахунками. При цьому дальність розкидання ґрунту на 25–30% менша за розрахункову.

Змінюючи кут β та радіус кривизни лопаток ρ ротора можна отримати найбільш рівномірний шар ґрунту, розподілений за довжиною укосу, що дозволить оптимізувати параметри усіх робочих органів машини та покращити технологічний процес.

ВИСНОВКИ

Максимальна висота смуги розкидання ґрунту досягається у випадку встановлення напрямного патрубку під кутом 35–45 град до горизонту. Максимальна лінійна швидкість викидання ґрунту з ротора не повинна

перевищувати 18–25 м/с. Радіус згину лопатки в площині обертання має дорівнювати довжині лопатки $\rho = l$. Найкращий розподіл ґрунту по укосу досягається за нижнього завантаження ротора машини та верхнього викидання. Кут розвантаження має становити $\varphi_p \geq 60$ град. За його зменшення частина ґрунту не встигає злетіти з лопаток і знову потрапляє до ротора.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Войтюк, Д. Г., Дубровін, В. О., Іщенко, Т. Д., Гаврилюк, Г. Р., Погорілець, О. М., Живолуп, Г. І. та ін. (2004). *Сільськогосподарські машини та меліоративні машини (Agricultural machines and reclamation machines)*. Київ: Вища освіта.
- Гадзал, Я. М., Сташук, В. А., & Рокочинський, А. М. (2017). *Меліорація та облаштування Українського Полісся (Reclamation and development of the Ukrainian Polissia)*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС.
- Кошук, О. Б., Лузан, П. Г., Мося, І. А., Герлянд, Т. М., & Романов, Л. А. (2015). *Сільськогосподарські і меліоративні машини (Agricultural and reclamation machines)*. К.: ІПТО НАПН України.
- Лозовіцький, П. С. (2014). *Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів (Land reclamation and optimization of soil processes)*. Київ.
- Назаренко, І. І., Смага, І. С., Польчина, С.М., & Черлінка, В. Р. (2006). *Землеробство та меліорація (Agriculture and reclamation)*. Чернівці: Книги – XXI.
- Сукач, М. К., Горбатюк, Є. В., & Марченко, О. А. (2017). *Синтез землерийної і дорожньої техніки (Synthesis of earthmoving and road engineering)*. К.: Видавництво Ліра-К.
- Хмара, Л. А., & Кравець, С. В. (2014). *Машини для земляних робіт (Machines for earthworks)*. Харків: ХНАДУ.