

УЗАГАЛЬНЕНА ГЕОМЕТРИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ГРУНТУ В ШНЕКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНАХ ЗЕМЛЕОБРОБЛЮВЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Національний технічний університет України “КПІ”

**Національний університет водного господарства
 та природокористування, м. Рівне

В статті викладено теоретичні дослідження щодо узагальненого підходу до виділення груп параметрів при складанні узагальненої раціональної геометричної моделі після врахування всіх сил, які діють на частинку ґрунту при його русі по шнековій поверхні робочого органу землеоброблювальної техніки.

Постановка проблеми. Транспортування ґрунту в шнекових робочих органах представляє собою складний процес, що й обумовлює складність його геометричного та, як слідство, математичного опису. Дослідженню руху матеріальної частинки по шнековій поверхні присвячено багато наукових праць відомих вчених.

Основним недоліком існуючих фізичних моделей і відповідних геометричних та математичних описів є відсутність урахування стиснутого стану руху частинок в обмеженому просторі шнека, їхньої взаємодії й нехтування наявністю підпору з боку “вихідного” отвору шнекового робочого органу і, як наслідок, виникаючого тиску в напрямку руху матеріалу. У цьому ж зв'язку з'являється плутанина у фізичному змісті коефіцієнтів заповнення та продуктивності.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями математичного опису роботи шнеків займалися українські та закордонні вчені: А.І.Кукібний, І.І.Мер, М.В.Мурашов, А.М.Григор'єв та ін.

В роботах відмічається, що присутня плутанина у фізичному змісті коефіцієнтів заповнення та продуктивності. Рух частинок у шнеку буде відбуватися, коли сила тертя, викликана діючою на частинку відцентровою

силою $\frac{(P_1 + G)g_a^2}{gr}$, виявиться настільки великою, що пригальмує

частинку в спільному обертанні зі шнеком, тобто змусить її прослизнути по шнеку, переборюючи силу тертя об шнек $\mu_s(G + P_1)\cos(\alpha + \gamma)$ і складову сили тяжіння та „сили положення”, спрямовані уздовж шнекової поверхні донизу. Натомість, складова сили положення враховує крутильний рух та ефект підпору. Наочніше це можна показати на розгортці шнекової

поверхні.

Основна частина. Прийmemo для спрощення подальших досліджень масу m частинки ґрунту рівній одиниці, тобто $m = G/g = 1$ і, відповідно, сила тяжіння частинки $G = g$. Тоді, якщо $(\alpha + \gamma)$ - кут підйому частинки на радіусі r точки дотику частинки із шнековою поверхнею й μ_s - коефіцієнт тертя ковзання між частинкою й шнеком, то будемо мати на шнековій поверхні, дві незалежні від величини швидкості шнека сили $(G + P_1) \sin(\alpha + \gamma)$ і $\mu_s(G + P_1)\cos(\alpha + \gamma)$ якою перша є „що змушує сили тяжіння й положення, а друга - силою тертя, утворена складовою сили тяжіння й положення. Тому, що обидві сили перешкоджають руху частинки, то вони спрямовані в одну сторону.

У загальному виді за аналогією для описаної вище фізичної моделі силової картини руху частинки ґрунту, яка спирається на шнекову поверхню і є притиснутою до стінки не розробленого ґрунту у випадку похилого розташування осі шнека рівняння руху можна записати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos\alpha - \mu_s N_1 \sin\alpha - m\alpha \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) - (G + P_1) \cos\gamma - f_2 N_2 \sin\beta &= 0; \\ (G + P_1) \cos\gamma \sin\varepsilon + f_2 N_2 \cos\beta - \mu_s N_1 \cos\alpha - N_1 \sin\alpha - mr \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) &= 0; \\ (G + P_1) \sin\gamma \cos\varepsilon + mr\omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 - 2mr\omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

У випадку стійкого квазістаціонарного режиму руху транспортування $(\frac{d\varphi}{dt} = const, \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0)$; $m = 1$; $G = mg = 1g = g$; $P_2 = \frac{P_1}{g}$, маємо:

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos\alpha + \mu_s N_1 \sin\alpha - f_1 N_2 \sin\beta - (g + P_2) \cos\gamma &= 0; \\ (g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon + f_2 N_2 \cos\beta - \mu_s N_1 \cos\alpha - N_1 \sin\alpha &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$N_1 = \frac{(g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - (g + P_2) \cos\gamma \cos\beta}{\mu_s \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)}; \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{\left[\begin{array}{l} (g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - \\ -(g + P_2) \cos\gamma \cos\beta \end{array} \right] \cos\alpha \mu_s \sin\alpha}{f_2 \sin\beta [\mu_s \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} - \frac{(g + P_2) \cos\gamma}{f_2 \sin\beta}. \quad (4)$$

Використовуємо кутові параметри виду:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v \sin \beta}{\alpha} = \frac{\omega_0 \cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (5)$$

Із третього рівняння системи (1), можна одержати характерну умову для руху частинки з кутовими параметрами для будь-якого шнекового робочого органа:

$$\frac{f_2 \left[\omega_0^2 r \sin^2 \alpha \cos^2 \beta + (g + P_2) \sin \gamma \cos \varepsilon \sin^2(\alpha + \beta) \right] \left[\cos \beta - \sin \beta \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \right]}{(g + P_2) \sin^2(\alpha + \beta) \left[\cos \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2) - \sin \gamma \sin \varepsilon \right]} \quad (6)$$

У виразах (1) - (6) прийняті наступні позначення; N_1 - нормальна реакція шнекової поверхні; G - сила тяжіння частинки ґрунту; P_1 - сила положення; N_2 - нормальна реакція корпусу; β - кутовий параметр; ε - кут, що визначає положення частинки ґрунту, щодо вертикальної площини; f_2 - коефіцієнт тертя продукту об стінку не розробленого ґрунту; γ - кут нахилу, шнекового пристрою ($\gamma = 90^\circ$ і $\gamma = 0$ відповідно для горизонтального й вертикального шнекових робочих органів); φ_1 - кут тертя ґрунту по шнеку; φ_2 - кут тертя ґрунту по ґрунту; \mathcal{Q}_r - відносна швидкість частинки; \mathcal{Q}_s - переносна швидкість частинки; \mathcal{Q}_a - абсолютна швидкість частинки; ω_0 - кутова швидкість частинки ґрунту у випадку стійкого квазістаціонарного режиму руху.

Шнек, який обертається, подібний до безперервної похилої площини, по якій під дією сил поля матеріал рухається вперед до вихідного отвору. При цьому матеріал переміщується, а кожна ділянка поверхні шнека пересуває його перед собою у вигляді клина суцільної форми, який називається «тілом волочіння», геометричні параметри якого залежать від заповнення шнека, фізико-механічних властивостей матеріалу, параметрів шнека і режиму його роботи. Клин обмежений циліндричною поверхнею кожуха шнека, поверхнею шнека і вільною поверхнею матеріалу.

Існує так звана „пасивна” зона [4] поверхні шнека, за рахунок якої транспортування матеріалу вперед зменшується і відбувається обертання матеріалу навколо вала, тобто його перемішування (рис. 1).

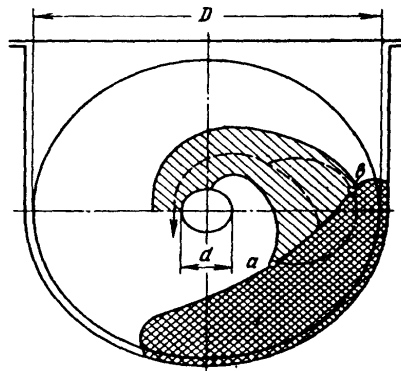


Рис.1. Схема розміщення матеріалу в пасивній поверхні шнеку

На рис.1. D – це діаметр шнека, d – діаметр вала.

При більшому куті нахилу шнека можна спостерігати, як по одній стороні шнека матеріал піднімається, рухаючись вперед, а по іншій стороні - зсовується донизу.

В результаті між точками a і b перетину границь пасивної області з вільною поверхнею „клина” матеріалу, що транспортується створюється потік. Матеріал, захоплений потоком, перекидається з об’єму переднього клина в задній, який слідує за першим. Таким чином, частина матеріалу рухається вперед, а відстає на один крок за повний оберт шнека.

За пропозицією М.В. Мурашова [4] встановлена різниця між коефіцієнтом продуктивності k та коефіцієнтом наповнення k_n .

Коефіцієнт продуктивності залежить від властивостей матеріалу, який транспортується: форми частинок середовища, коефіцієнта тертя матеріалу по поверхні шнека і кожуха, кута природного укусу і від параметрів шнека (кроку, діаметра, кута нахилу до горизонту, швидкості обертання), тобто є складною функцією кількох параметрів:
 $k = \Phi(D, S, \delta, f_1, f_2, \omega)$,

де D – діаметр шнека; S – крок шнека; δ – кут нахилу осі шнека до горизонту; f_1 – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні гвинта; f_2 – коефіцієнт тертя матеріалу по стінці кожуха; ω – кутова швидкість шнека.

Залежність коефіцієнта продуктивності від величини пасивної області можна описати наступним рівнянням: $k = P \left(1 - \frac{f}{F} \right)$,

де f – площа, яку займає пасивна область на поверхні одного витка шнека; F – повна робоча поверхня одного витка; P – коефіцієнт коригування.

На рис.2. показана залежність коефіцієнта продуктивності від швидкості обертання .

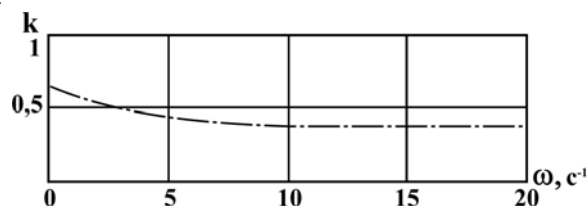


Рис. 2. Вплив швидкості обертання шнека на коефіцієнт продуктивності

Висновки. Кутова швидкість обертання мало впливає на величину пасивної зони, тобто збільшення швидкості практично не призводить до збільшення продуктивності.

Тому приходимо до висновку обмежитися найменшою з оптимальних швидкостей $\omega = \omega_0 = 2,5 \text{ с}^{-1}$.

Має значення також кут нахилу шнека до горизонту та його вплив на коефіцієнт продуктивності (рис. 3).

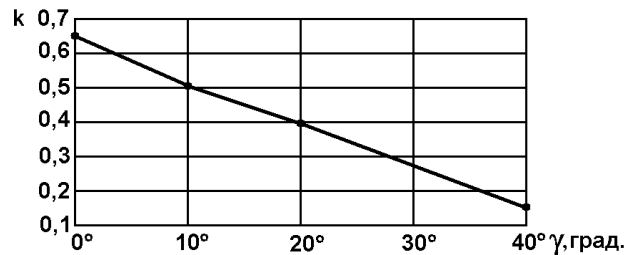


Рис. 3. Вплив кута нахилу шнека на коефіцієнт продуктивності

З рисунку видно, що при $\omega = 2,5 \text{ с}^{-1}$ краще використовувати шнеки з $\gamma = 0^\circ$.

Література

1. Мелиоративные машины. [Под. ред. И.И.Мера]. – М.: Колос, 1980. - 351с.
2. *Ветров Ю.А.* Резания грунтов землеройными машинами/Ю.А.Ветров – М.: Машиностроение, 1972. – 359 с.
3. *Зеленин А.Н.* Машины для земляных работ/Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керров И.П.– М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
4. *Мурашов В.* О производительности транспортирующих шнеков /Мурашов В, Григорьев А. //Строительные и дорожные машины. - М.: 1970. –Вып.6.- С. 13-15.

ОБОБЩАЮЩАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТА В ШНЕКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНАХ ЗЕМЛЕОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

Г.И. Тимкович, О.В. Маркова, Н.В. Пивень, Т.М. Надкерничная

Изложены результаты исследований обобщенного подхода к выделению групп параметров при составлении геометрической модели после учета всех сил, которые действуют на частицу грунта при его движении по шнековой поверхности рабочего органа землеобрабатывающей техники.

**GENERALIZED GEOMETRIC INTERPRETATION
OF THE PHYSICAL PARAMETERS OF THE MOTION
OF SOIL IN THE AUGER OPERATING UNITS
OF THE SOIL-PREPARATION TECHNOLOGY**

G.Timkovich, O.Markova, N. Piven, T.Nadkrenychna

In the article are presented theoretical studies on the generalized approach to the selection of the groups of the parameters with the composition of the generalized [geotricheskoy] present after the calculation of all forces, which act on the particle of soil during its motion over the auger surface of the operating unit of the soil-preparation technology.