

РОЗРАХУНОК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ СКРЕБКА ГНОЄПРИБИРАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

*С.Ф. Пилипака, Г.А. Голуб, доктори технічних наук
М.І. Ікальчик, здобувач**

Отримано рівняння і побудовані криві ортогонального перерізу циліндричної поверхні, по якій рухається частинка гною під дією сил підпору. Траєкторія руху частинки перпендикулярна твірним поверхні. Крива перерізу розрахована із умови, що при сталій швидкості частинки її тиск на поверхню теж є сталим.

Скребок, поверхня, гній, рівняння, криві, частинка.

Постановка проблеми. Своєчасне видалення гною з тваринницьких приміщень – одна з важливих народногосподарських проблем. Проблему прибирання гною розглядають враховуючи забезпечення фізіологічного комфорту при утриманні тварин, а отже якісне прибирання гною за мінімальну кількість проходів гноєприбиральних агрегатів.

Аналіз останніх досліджень. Д.т.н. професор І.І. Ревенко в підручнику [1, с. 456] відзначав, що значний вплив на якість видалення гною має форма скребка.

Для якісного прибирання гною необхідно максимально прижати скребки скрепера до поверхні гноєвого каналу.

Процес руху скребка відбувається таким чином, що попереду скребка знаходиться гній і скребок входить в масу гною, що теоретично можна представити як рух робочого органу в ґрунті. З урахуванням цього можна розглядати теорію академіка В.П. Горячкіна який обґрунтовуючи робочу поверхню ґрунтообробних машин відзначав [2, с. 18], що незважаючи на надзвичайну різноманітність робочих органів ґрунтообробних знарядь, геометрична форма робочої поверхні кожного з них зводиться до клина, тобто клин лежить в основі і є прототипом культиваторних лап і інших ґрунтообробних машин.

Мета досліджень. Розробити математичну модель розрахунку вгнутої робочої поверхні скребка скреперної установки для прибирання гною.

Результат досліджень. Виходячи з вище сказаного найефективнішою конструкцією скребка скреперної установки буде

*Науковий керівник – доктор технічних наук Г.А. Голуб

вгнута робоча поверхня [3, с. 43]. Для ефективної роботи скрепера необхідно забезпечити сталу величину тиску гною який рухається по робочій поверхні скребка. Для цього знайдемо рівняння і побудуємо криві, які є траєкторіями руху частинок гною по робочій поверхні скребка.

Рух матеріальних частинок по гравітаційних поверхнях розглянуто в монографіях [4, 5]. Оскільки мається на увазі, що поверхні циліндричні із горизонтальним розташуванням твірних, то рух частинок можна досліджувати на плоских кривих - ортогональних перерізах цих поверхонь. У відповідних розділах згаданих праць такі поверхні і криві носять назву гравітаційних, тому що рух частинки обумовлений силою її ваги.

Швидкість руху по кривій в таких випадках змінна. Проте в сільськогосподарських машинах можуть бути випадки, коли частинка рухається по поверхні із постійною швидкістю (наприклад, при примусовому русі частинок гною по поверхні скребка [6]). В такому випадку на частинку, крім сили ваги, діє інша активна сила $F_{\text{тг}}$ (сила тяги).

Знайдемо такі криві, при русі по яких із постійною швидкістю частинка чинитиме сталий тиск. Очевидно, що такі криві уже не будуть гравітаційними.

Знайдемо криві, що забезпечують сталий тиск при постійній швидкості руху частинки гною по них. Робимо припущення, що швидкість руху частинки по скребку дорівнює швидкості руху самого скребка по гнойовому каналу.

Припустимо, що під дією сили підпору частинка гною рухається вгору по кривій із постійною швидкістю v (рис. 1). Знайдемо рівняння кривої, яка при заданій швидкості v забезпечить сталу реакцію $F_{\text{тс}}$ поверхні, тобто постійний тиск на поверхню. В практичному плані така поверхня буде рівномірно зношуватися і менше буде схильна до залипання гною. Спроекуємо всі діючі сили на головну нормаль \bar{n} кривої:

$$mg \cos \alpha + mv^2 k = F_{\text{тс}}, \quad (1)$$

де k – кривина кривої в даній точці, m – маса частинки, $g=9,81\text{м/с}^2$. Перепишемо рівняння (1), розділивши ліву і праву частини на силу ваги mg і записавши кривину k через відоме співвідношення із диференціальної геометрії $k = \frac{d\alpha}{ds} = 1 : \frac{ds}{d\alpha} = \frac{1}{s'}$, де s – довжина дуги кривої:

$$\cos \alpha + \frac{v^2}{s'g} = \frac{F_{\text{тс}}}{mg}. \quad (2)$$

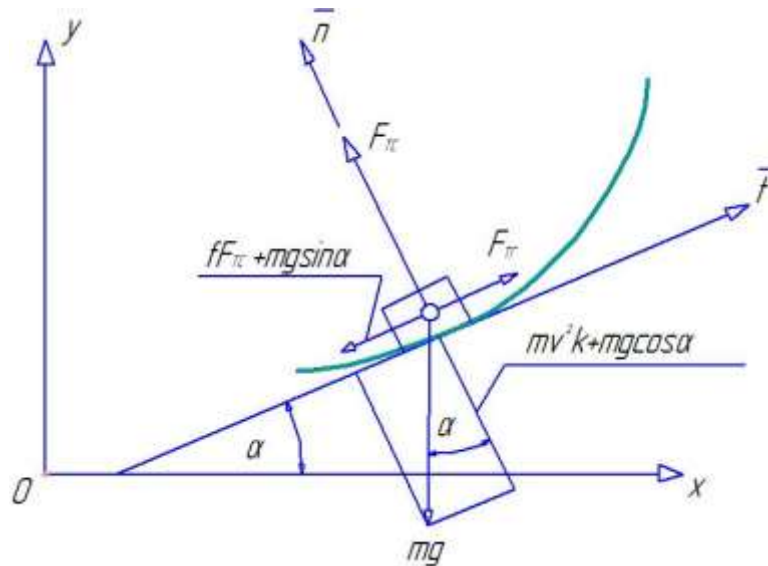


Рис. 1. Розкладання діючих сил на головну нормаль \bar{n} і дотичну \bar{t} кривої.

Відношення F_t/mg є сталою величиною, воно показує, яку долю від загальної сили тиску частинки становить складова ваги частинки. Позначимо його через a_{TC} і розв'яжемо рівняння (2) відносно s' :

$$\frac{ds}{d\alpha} = \frac{v^2}{g(a_{TC} - \cos \alpha)}, \quad \text{отже} \quad k = \frac{g}{v^2}(a_{TC} - \cos \alpha). \quad (3)$$

Інтегрування виразу (3) можливе для двох випадків: $a_{TC} > 1$ (тобто тиск на поверхню більший від ваги частинки) і $a_{TC} < 1$ (тиск менший ваги частинки). Запишемо відповідні інтеграли (постійну інтегрування опускаємо):

$$s = \frac{v^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_{TC} - \cos \alpha} = \frac{2v^2}{g\sqrt{a_{TC}^2 - 1}} \arctg \sqrt{\frac{a_{TC} + 1}{a_{TC} - 1}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (a_{TC} > 1)$$

$$s = \frac{v^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_{TC} - \cos \alpha} = \frac{v^2}{g\sqrt{1 - a_{TC}^2}} \ln \frac{(1 + a_{TC}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - a_{TC}^2}}{(1 + a_{TC}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - a_{TC}^2}}. \quad (a_{TC} < 1) \quad (4)$$

Рівняння (4) $s=s(\alpha)$ задають закономірність зміни кута α вздовж дуги кривої, отже визначають криву своїми внутрішніми властивостями незалежно від її розташування в прямокутній системі координат. В диференціальній геометрії прийнятий інший запис кривих своїм внутрішнім рівнянням – залежністю кривини від довжини дуги $k=k(s)$. Таке рівняння називається натуральним рівнянням кривої. Його ми одержимо для обох випадків, якщо в правому рівнянні (3) і рівняннях (4) виключимо спільний параметр α .

$$k = \frac{g(a_{\text{TC}}^2 - 1)}{v^2 \left[a_{\text{TC}} + \cos \left(\frac{g}{v^2} \sqrt{a_{\text{TC}}^2 - 1} s \right) \right]}; \quad (a_{\text{TC}} > 1) \quad (5)$$

$$k = \frac{2g(1 - a_{\text{TC}}^2) e^{\frac{g\sqrt{1-a_{\text{TC}}^2}}{v^2} s}}{v^2 \left(e^{\frac{2g\sqrt{1-a_{\text{TC}}^2}}{v^2} s} - 2a_{\text{TC}} e^{\frac{g\sqrt{1-a_{\text{TC}}^2}}{v^2} s} + 1 \right)}. \quad (a_{\text{TC}} < 1)$$

Натуральні рівняння (5) задають криві незалежно від їх положення і орієнтації на площині. Це означає, що при повороті кривої на певний кут ε її натуральне рівняння не змінюється. Для нас така форма запису не є прийнятною, оскільки орієнтація кривої в площині буде залежати від векторів прикладених сил, тому перейдемо до координатної форми запису. Зв'язок натуральних рівнянь із прямокутними координатами описується відомими в диференціальній геометрії залежностями:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \alpha; \quad \frac{dy}{ds} = \sin \alpha. \quad (6)$$

Перепишемо залежності (6), перейшовши до незалежної змінної α :

$$\frac{dx}{d\alpha} \frac{d\alpha}{ds} = \cos \alpha, \text{ звідки } \frac{dx}{d\alpha} = \frac{ds}{d\alpha} \cos \alpha.$$

Аналогічно

$$\frac{dy}{d\alpha} = \frac{ds}{d\alpha} \sin \alpha. \quad (7)$$

Підставивши в (7) вираз $\frac{ds}{d\alpha}$ із (3), одержимо залежності для знаходження координат x і y кривої:

$$x = \frac{v^2}{g} \int \frac{\cos \alpha d\alpha}{a_{\text{TC}} - \cos \alpha} = \frac{a_{\text{TC}} v^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_{\text{TC}} - \cos \alpha} - \frac{v^2}{g} \alpha; \quad (8)$$

$$y = \frac{v^2}{g} \int \frac{\sin \alpha d\alpha}{a_{\text{TC}} - \cos \alpha} = \frac{v^2}{g} \ln(a_{\text{TC}} - \cos \alpha).$$

Із (8) видно, що після інтегрування вираз $y=y(\alpha)$ має простий вигляд, а вигляд для координати $x=x(\alpha)$ зводиться до інтегралів (4), тому він розпадається на дві залежності для $a_{\text{TC}} > 1$ і $a_{\text{TC}} < 1$:

$$x = \frac{2a_{\text{TC}} v^2}{g \sqrt{a_{\text{TC}}^2 - 1}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a_{\text{TC}} + 1}{a_{\text{TC}} - 1}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{v^2}{g} \alpha; \quad (a > 1) \quad (9)$$

$$x = \frac{a_{\text{TC}} v^2}{g \sqrt{1 - a_{\text{TC}}^2}} \ln \frac{(1 + a_{\text{TC}}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - a_{\text{TC}}^2}}{(1 + a_{\text{TC}}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - a_{\text{TC}}^2}} - \frac{v^2}{g} \alpha. \quad (a < 1)$$

У виразах (8), (9) постійні інтегрування опущені, оскільки вони впливають тільки на паралельний перенос кривої вздовж осей Ox і Oy .

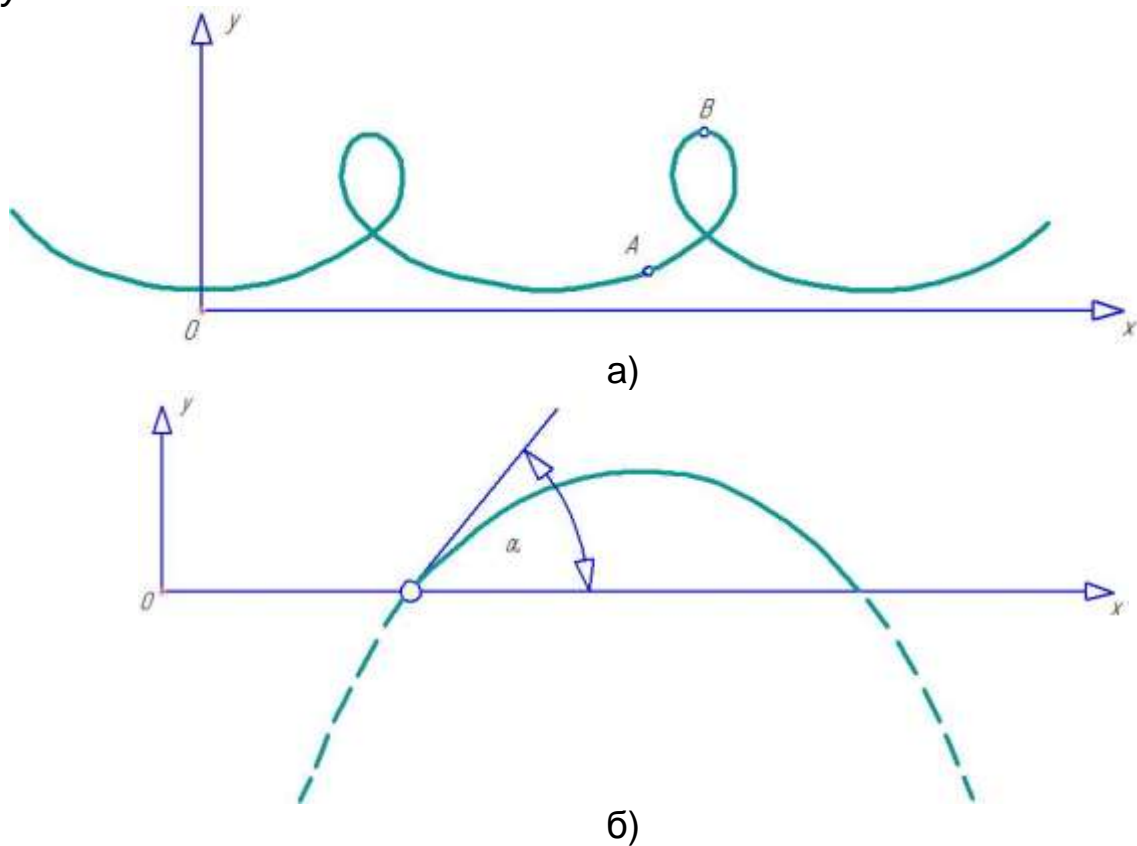


Рис. 2. Криві, що забезпечують сталий тиск при постійній швидкості руху частинки: а) $a_{TC}=1,2$; $v=0,2$ м/с; б) $a_{TC}=0$; $v=0,2$ м/с.

На рис. 2,а,б побудовані криві за рівняннями $y=y(\alpha)$ із (8) і $x=x(\alpha)$ із (9) для $a_{TC}>1$ і $a_{TC}<1$.

На рис. 2,а показана крива перерізу поверхні, тиск на яку при заданій швидкості $v=0,2$ м/с більший ваги частинки в 1,2 рази. Ділянка кривої \widehat{AB} може розглядатися, як можливий профіль скребка скреперної установки.

Якщо $a_{TC}<1$, тобто тиск на поверхню має бути меншим ваги тіла, то таке зменшення можливе за рахунок того, що тіло буде рухатися по зовнішній стороні випуклої кривої. На рис. 2,б побудована крива для і $a_{TC}=0$, тобто тиск на неї рівний нулю. Для заданої швидкості v така крива існує для значень кута α із певного проміжку. Практично таку криву використати неможливо, оскільки вона не діє на частинку і може розглядатися, як гранична крива. Сказане пояснимо на наступному прикладі. Нехай крива (рис. 2,б) буде профілем скребка. Як тільки частинка гною досягне розрахункової швидкості на скребку, зникне тиск на скребок, отже він не зможе підтримувати цієї швидкості далі із-за відсутності тертя.

З іншої сторони, якщо все ж таки частинці гною вдасться підтримати якимось чином розрахункову швидкість (наприклад, за рахунок реактивної тяги), то подальша траєкторія руху частинки гною буде визначатися кривою скребка навіть при його відсутності. Отже для проектування профілю скребка беремо перший варіант показаний на рис. 2,а.

Висновок. Отримана математична модель дозволяє розрахувати оптимальну робочу поверхню скребка скреперної установки при якій пласт гною буде давити на скребок і притискати його до дна гнойового каналу, в результаті чого покращиться якість прибирання гною.

Список літератури

1. Ревенко І.І. Машина та обладнання для тваринництва: підручник / Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. – К.: Кондор, 2009. – 731 с.
2. Посібник для студентів спеціальності 7.090215 "Машина і обладнання сільськогосподарського виробництва" / К.І. Шмат, П.В. Сисолін, В.В. Карманов, Г.І. Іванов. – Херсон: Олді-Плюс, 2004. – 308 с.
3. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков [та ін.] ; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.: іл.
4. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
5. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика. – К.: УСХА, 1992. – 507 с.
6. Войтюк Д.Г. Побудова траєкторій руху частинок ґрунту по циліндричних поверхнях і знаходження кривої перерізу / Д.Г. Войтюк, С.Ф. Пилипака // Техніка АПК. – К., 1999. – № 8. – С. 6–9.

Получено уравнение и построены кривые ортогонального сечения цилиндрической поверхности, по которой движется частица навоза под действием сил подпора. Траектория движения частицы перпендикулярна образующим поверхности. Кривая сечения рассчитана из условия, что при постоянной скорости частицы ее давление на поверхность тоже является постоянным.

Скребок, поверхность, навоз, уравнения, кривые, частица.

Obtained equations and curves constructed orthogonal sectional cylindrical surface on which particle moves under action of manure backwater. The trajectory of particle perpendicular to surface of generators. Section curve calculated from condition that constant speed of particles on surface pressure is also constant.

Scraper, surface, manure, equation, curves, particle.