

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ЛОПАТИ РОБОЧОГО ОРГАНУ АЕРАТОРА З ГНОЄ-КОМПОСТНОЮ СУМІШШЮ

Павленко Сергій Іванович к.т.н., доцент, науковий співробітник
Національний університет біоресурсів і природокористування

Pavlenko S.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Анотація: дослідити процес взаємодії лопати робочого органу аератора з гноє-компостною сумішшю. Теоретичні дослідження проводилися із використанням механіко-математичного моделювання, положень теоретичної механіки і методів диференціального та інтегрального числення. Розглянуто процес відділення часток гноє-компостної суміші від основного масиву і переміщення їх у задану область під дією робочого органу аератора. В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії лопати робочого органу аератора із гноє-компостною сумішшю встановлено розрахункову формулу для визначення загальної потужності, що витрачається робочим органом аератора в процесі його роботи.

Ключові слова: аератор, робочий орган, гноє-компостна суміш, потужність, стиснення, відділення, переміщення.

Вступ

Фізико-математичне описання процесу стиснення об'єму гноє-компостною суміші із подальшим його руйнуванням є достатньо складним, так як воно охоплює математичний апарат дискретного середовища із неоднорідними та анізотропними фізико-механічними і реологічними властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведені дослідження [1-5] напруженого стану об'єму гноє-компостною суміші під дією робочих органів не призвели до отримання практичних результатів. На жаль, у всьому світі мало приділяється уваги дослідженням зміни властивостей гноє-компостною суміші при механічній обробці.

Мета досліджень

Дослідити процес взаємодії лопати робочого органу аератора із гноє-компостною сумішшю.

Результати випробувань

При роботі робочого органу (лопатевого, гвинтового) аератора виконується процес відділення часток гноє-компостної суміші від основного масиву і переміщення їх у задану область. У відповідності з цим на лопаті можна виділити дві робочі зони (див. рис.): відділення і переміщення.

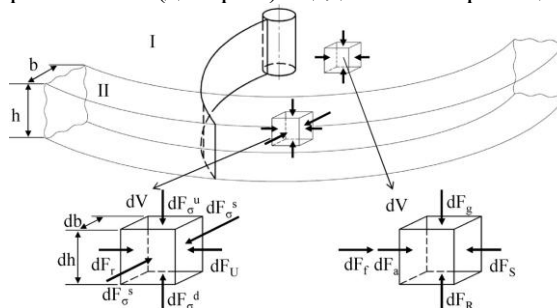


Рис. Схема сил, що діють на частки гноє-компостної суміші

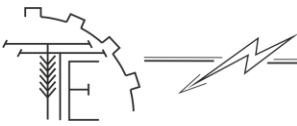
Сумарне зусилля, яке необхідно для переміщення лопати є суперпозицією зусиль, які витрачаються на переміщення і відділення часток гноє-компостної суміші:

$$\sum F = F_U + F_S, \quad (1)$$

де F_U – зусилля відділення, Н;

F_S – зусилля переміщення, Н.

Розглянемо взаємодію лопати із частками гноє-компостної суміші в зонах відділення і переміщення. Відділення лопать виконує передньою кромкою. Розглянемо елементарний об'єм гноє-компостної суміші dV , який знаходиться в момент відділення на передній кромці (див. рис.). В загальному випадку елемент об'єму dV знаходиться у складнонапруженому стані. Елементарний об'єм dV стискається силами тиску маси верхніх елементів dF_y^u і релаксації нижніх елементів dF_y^d , а також утримується силами



бокового зчеплення з масивом dF_y^s . З боку кромки лопаті на елемент гное-компостної суміші діє на площу $dh \cdot db$ сила dF_U . Їй перешкоджає сила опору відділення dF_r . Таким чином, сила опору відділення, що залежить від фізико-механічних властивостей гное-компостної суміші, є основним силовим фактором, що перешкоджає відділенню гною від основного масиву.

Елементарна сила опору визначається виразом

$$dF_r = \tau_r \cdot dh \cdot db, \quad (2)$$

де τ_r – опір зсуву різання гною, Па;

dh, db – ширина і висота елементарної частки гное-компостної суміші, м.

Відповідно до рівняння Кулона-Мора, опір зсуву по визначеній поверхні руйнування лінійно залежить від нормального напруження гное-компостної суміші [6]:

$$\tau_r = C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi, \quad (3)$$

де σ_n – нормальне миттєве напруження опору гное-компостної суміші, Па;

C_0 – коефіцієнт зчеплення гное-компостної суміші, Па;

ψ – кут внутрішнього тертя гное-компостної суміші, рад.

Нормальне миттєве напруження опору гное-компостної суміші визначається з наступного рівняння [6]:

$$\begin{cases} \sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \cos \varphi \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2}, \\ \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \gamma, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0, \\ \frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}{(\sigma_x + \sigma_y + 2C_0 \operatorname{ctg} \psi)^2} = \sin^2 \varphi, \end{cases} \quad (4)$$

де τ_{xy} – дотичне напруження, Па;

σ_x, σ_y – нормальне напруження вздовж осей Ox і Oy відповідно, Па;

γ – об'ємна вага гное-компостної суміші, Н/м^3 ;

$$\gamma = \rho \cdot g; \quad (5)$$

ρ – густина гное-компостної суміші, кг/м^3 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Згідно з третім законом Ньютона:

$$\begin{cases} dF_U = dF_r, \\ dF_\sigma^u = dF_\sigma^d, \\ dF_\sigma^{si} = dF_\sigma^s. \end{cases} \quad (6)$$

Об'єднуючи рівняння (2)-(4) отримуємо вираз для визначення зусилля відділення:

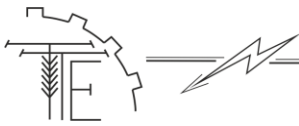
$$F_U = \int_b^h \int_h (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) dh \cdot db = (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) hb. \quad (7)$$

Для визначення зусилля переміщення розглянемо елементарний об'єм dV (див. рис.). В зоні переміщення об'єм гное-компостної суміші переміщується лопаттю по кривій з миттєвим радіусом $r(t)$. Згідно проведених теоретичних досліджень процесу формування бурта гное-компостної суміші при її механічній аерації [7] встановлено миттєвий радіус $r(t)$:

$$\begin{aligned} r(t) &= \frac{1}{2(1+f^2)\omega^2} e^{-\omega(f+\sqrt{1+f^2})t} \left(2(1+f^2)\omega^2 (C_1 + C_2 e^{-2\omega\sqrt{1+f^2}t}) + \right. \\ &\quad \left. + 2e^{\omega(f+\sqrt{1+f^2})t} fg \cos(\omega t + \varphi_0) - e^{\omega(f+\sqrt{1+f^2})t} (f^2 - 1)g \sin(\omega t + \varphi_0) \right) \\ C_1 &= \frac{1}{\omega^3(1+f^2)^2} \left(0,5(r\omega^2(-f\omega - f^3\omega + \omega\sqrt{1+f^2} + f^2\omega\sqrt{1+f^2}) + \right. \\ &\quad \left. + g(0,5\omega(1+f^2) - f\omega\sqrt{1+f^2})\cos\varphi_0 + \right. \\ &\quad \left. + 0,5g(-f\omega - f^3\omega - \omega\sqrt{1+f^2} + f^2\omega\sqrt{1+f^2})\sin\varphi_0 \right) \\ C_2 &= \frac{1}{\omega\sqrt{1+f^2}} \left(0,5 \left(\frac{g(0,5(1-f^2)\cos\varphi_0 - f\sin\varphi_0)}{(1+f^2)\omega} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \omega(f + -\sqrt{1+f^2}) \left(-r + \frac{fg \cos\varphi_0}{(1+f^2)\omega^2} - \frac{0,5(f^2-1)g \sin\varphi_0}{(1+f^2)\omega^2} \right) \right) \right). \end{aligned} \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя компосту об матеріал лопаті;

ω – кутова швидкість обертання лопаті робочого органу, с^{-1} ;



t – час, с;

α_0 – кут початку розвантаження компосту з лопаті робочого органу.

Об'єм dV знаходиться під дією наступних сил: верхня і нижня грань під дією відповідно сили тяжіння dF_g з боку верхніх часток гное-компостної суміші і реакції dF_R з боку нижніх; бічні грані – під дією нормальної складової сили інерції dF_a^s і сили тертя частки по лопаті dF_f^s ; на передню грань діють дві основні сили тертя dF_f і сила інерції dF_a (тангенціальна складова), сила Коріоліса dF_k , а також складова сили тяжіння F_g пов'язана з кутом нахилу β плити до горизонтальної площини. На задню грань діє сила з боку лопаті. Крім зазначених, діють і інші сили: підпору наступних відокремлених частин гное-компостної суміші на попередні; внутрішнього тертя при зміщенні частин одна відносно одної та ін., проте їх величиною можна знехтувати з урахуванням їх скомпенсованості.

Оскільки всі сили діють на передню і задню грані направлені уздовж однієї осі, то використовуючи принцип Д'Аламбера і переводячи в алгебраїчну форму можна записати:

$$dF_s = dF_a + dF_f + dF_g \sin \alpha. \quad (9)$$

Сила інерції в даному випадку є відцентрова сила, яка визначається:

$$dF_a = \omega^2 r(t) \cdot dm, \quad (10)$$

де m – маса частки компосту, кг;

$r(t)$ – радіус переміщення частки компосту, м;

ω – кутова швидкість обертання лопаті робочого органу, c^{-1} .

Сила тертя визначається за виразом

$$dF_f = f \cdot dN, \quad (11)$$

де dN – нормальна реакція поверхні лопаті, Н:

$$dN = dF_g + dF_k, \quad (12)$$

dF_k – сила Коріоліса, Н:

$$dF_k = 2\omega r dm, \quad (13)$$

dF_g – сила тяжіння, Н:

$$dF_g = g \cdot dm, \quad (14)$$

Враховуючи (13) і (14) перетворимо (12) у вигляді

$$dN = dF_g + dF_k = g \cdot dm + 2\omega r \cdot dm. \quad (15)$$

Підставивши (10)-(15) у (9) отримуємо:

$$dF_s = (\omega^2 r(t) + fg + 2\omega r(t)f + g \sin \alpha) dm. \quad (16)$$

Проінтегрувавши вираз (16) по всьому об'єму зони переміщення отримуємо:

$$F_s = m(\omega^2 r(t) + fg + 2\omega r(t)f + g \sin \alpha). \quad (17)$$

Підставляючи (7) і (17) в (1) маємо:

$$\sum F = (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) hb + m(\omega^2 r(t) + fg + 2\omega r(t)f + g \sin \alpha), \quad (18)$$

Загальна потужність, що витрачається робочим органом аератора в процесі перелопачування гное-компостною суміші, визначається наступним чином:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (19)$$

де P_i – потужність, що витрачається на переміщення лопаті, Вт;

n – кількість лопатей.

Потужність, яка витрачається на переміщення і відділення часток гное-компостної суміші під дією однієї лопаті можна представити у вигляді:

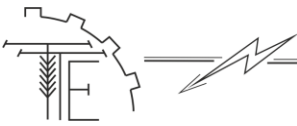
$$P_i = \omega R \sum F = (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) hb \omega R + m \omega R (\omega^2 r(t) + fg + 2\omega r(t)f + g \sin \alpha). \quad (20)$$

При умові однакових геометричних розмірів лопатей вираз (19) набуває вигляду:

$$P = n \cdot P_i = hb \omega R n (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) + m \omega R n (\omega^2 r(t) + fg + 2\omega r(t)f + g \sin \alpha). \quad (21)$$

Висновки

В результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії лопаті робочого органу аератора із гное-компостною сумішшю встановлено розрахункову формулу для визначення загальної потужності, що витрачається робочим органом аератора в процесі його роботи.

**Список літератури**

1. Криволапов Максим Владимирович. Совершенствование технологии производства компостов с обоснованием параметров рыхлителя буртов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Криволапов Максим Владимирович. – Мичуринск-научоград РФ, 2011. – 181 с.
2. Павлов Павел Иванович. Научно-технические решения проблемы ресурсосбережения при использовании навозопогрузчиков непрерывного действия: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / Павлов Павел Иванович. – М., 2003. – 444 с.
3. Петунов Сергей Васильевич. Совершенствование технологии приготовления компоста из отходов животноводства и деревообработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Петунов Сергей Васильевич. – Улан-Удэ: РГБ, 2007. – 164 с.
4. Тиньгаев Анатолий Владимирович. Управление использованием органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне: дис. ... д-ра. техн. наук: 06.01.02 / Тиньгаев Анатолий Владимирович. – М., 2010. – 340 с.
5. Куденко Вячеслав Борисович. Повышение эффективности технологии переработки навоза глубокой подстилки с обоснованием основных параметров аэратора: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / 6. Куденко Вячеслав Борисович. – Мичуринск, 2009. – 185 с.
6. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Гостехиздат, 1954. – 243 с.
7. Павленко С.І. Теоретичні дослідження процесу формування бурта гное-компостної суміші при її механічній аерації / С.І. Павленко // 36. наук, праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки – Вінниця, 2014. – № 2 (85). – С. 81-91.

References

1. Krivolapov Maksim Vladimirovich. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva kompostov s obosnovaniem parametrov rykhlyatelya burtoy: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Krivolapov Maksim Vladimirovich. – Michurinsk-naukograd RF, 2011. – 181 s.
2. Pavlov Pavel Ivanovich. Nauchno-tekhnicheskie resheniya problemy resursosberezheniya pri ispol'zovanii navozopogruchnikov neprerynogo deystviya: dis. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.20.01 / Pavlov Pavel Ivanovich. – M., 2003. – 444 s.
3. Petunov Sergey Vasil'yevich. Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya komposta iz otkhodov zhivotnovodstva i derevoobrabotki: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Petunov Sergey Vasil'yevich. – Ulan-Ude: RGB, 2007. – 164 s.
4. Tin'gaev Anatoliy Vladimirovich. Upravlenie ispol'zovaniem organicheskikh otkhodov v sel'skom khozyaystve na regional'nom urovne: dis. ... d-ra. tekhn. nauk: 06.01.02 / Tin'gaev Anatoliy Vladimirovich. – M., 2010. – 340 s.
5. Kudenko Vyacheslav Borisovich. Povyshenie effektivnosti tekhnologi pererabotki navoza glubokoy podstilki s obosnovaniem osnovnykh parametrov aeratora: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Kudenko Vyacheslav Borisovich. – Michurinsk, 2009. – 185 s.
6. Sokolovskiy V.V. Statika sypuchey sredy / V.V. Sokolovskiy. – M.: Gostekhizdat, 1954. – 243 s.
7. Pavlenko S.I. Teorety`chni doslidzhennya procesu formuvannya burta gnoye-kompostnoyi sumishi pry` yiyi mexanichnij aeraciyi / S.I. Pavlenko // 36. nauk, pracz` Vinny`cz`kogo nacional`nogo agrarnogo univerty`tetu. Seriya: Texnichni nauky` – Vinny`cya, 2014. – # 2 (85). – S. 81-91.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЛОПАСТЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА АЭРАТОРА С ГНОЕ-КОМПОСТНОЙ СМЕСЬЮ**

Аннотация: исследовать процесс взаимодействия лопасти рабочего органа аэратора с гное-компостной смесью. Теоретические исследования проводились с использованием механико-математического моделирования, положений теоретической механики и методов дифференциального и интегрального исчисления. Рассмотрены процесс отделения частиц гное-компостной смеси от основного массива и перемещение их в заданную области под действием рабочего органа аэратора. В результате теоретических исследований процесса взаимодействия лопасти рабочего органа аэратора с гное-компостной смесью установлено расчетную формулу для определения общей мощности, расходуемой рабочим органом аэратора в процессе его работы.

Ключевые слова: аэратор, рабочий орган, гное-компостная смесь, мощность, сжатия, отделение, перемещения.

**THEORETICAL STUDY OF THE BLADES OF THE BODY INTERACTION AERATOR
FROM THE COMPOST MIXTURE**

Summari: explore the interaction of the working body of the blade aerator with compost mixture. Theoretical studies were carried out using mechanical and mathematical modeling, the provisions of theoretical mechanics and techniques of differential and integral calculus. Consider the process of separating particles pus-compost mixture from the main body and moving them to a specified area under the influence of the working body of the aerator. As a result of theoretical studies of the interaction between the blades of the working body of the aerator with pus-compost mixture is set formulas for calculating the total power consumed by the working body of the aerator in the course of his work.

Keywords: aerator, working body, pus-compost mixture, power, compression, separation, displacement.