

centrifugal forces opposing frictional force due to Coriolis force, the frictional force due to gravity, and gravity directly. The minimum limit for the angular speed centrifugal movement of material particles on the radial blade in different variants drum. The method of calculating the minimum limit angular velocity, which provides centrifugal motion of material particles on the radial blade, is offered. An expression for calculation of the limit of the angular velocity, which provides centrifugal motion of material particles in the radial blade with 10-12% accuracy in a wide range of traffic conditions and the size of the drum.

Keywords: drum, radial blade, movement of particles

УДК 631.3:636

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ГНОЄ-КОМПОСТНОЇ СУМІШІ ЛОПАТЕВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

***С. І. Павленко, кандидат технічних наук
e-mail: gagolub@mail.ru***

Анотація. В результаті чисельного моделювання технологічного процесу змішування компонентів гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом з використанням пакету програмного забезпечення Star CCM+ встановлені залежності зміни висоти сформованого бурта H , коефіцієнта варіації якості змішування δ від коефіцієнта завантаження k і кінематичного показника режиму роботи λ . Гноє-компостна суміш представляється у вигляді сферичних частинок радіусом 2,5 мм. При моделюванні процесу зазначеним методом задаються початкові положення частинок гноє-компостної суміші. Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожну частинку в кожній інтервал часу. Для кожної частинки обчислюється результуюча сила і також вирішується задача Коші на вибраному відрізьку часу, результатом якої є початкові дані для наступного кроку. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: поле сили тяжіння, модель дискретних елементів, лагранжева багатозфазність, модель багатозфазної взаємодії. Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – 27.

© С. І. Павленко, 2016

В результаті моделювання було отримано візуалізацію технологічного процесу змішування гное-компостної суміші і формування бурта. Встановлено, що при низькому значенні кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 16,8$) із збільшенням коефіцієнта завантаження збільшується і коефіцієнта варіації. На відміну від високого значення кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 251,3$), при якому із збільшенням коефіцієнта завантаження коефіцієнта варіації зменшується.

Ключові слова: компост, бурт, змішувач-аератор, чисельне моделювання, коефіцієнт варіації, коефіцієнт завантаження, кінематичний показник

Постановка проблеми. В залежності від способу вивантаження гною на площадку для компостування і його фізико-механічних властивостей, форму бурта гное-компостної суміші можна апроксимувати як трикутну, трапецеїдальну і прямокутну. Трикутна і трапецеїдальна форма характеризується висотою H , шириною b і кутом природнього відкосу гное-компостної суміші α . Прямокутна форма має місце при технології компостування в каналах. В зв'язку з різноманітністю форм та фізико-механічних властивостей гною необхідно мати певні типи робочих органів змішувачів-аераторів для здійснення технологічної операції компостування [1].

Аналіз останніх публікацій. Конструкції робочих органів змішувачів-аераторів гное-компостної суміші можна розділити на чотири типи в залежності від виду формованого бурта і фізико-механічних властивостей гною (рис. 1).

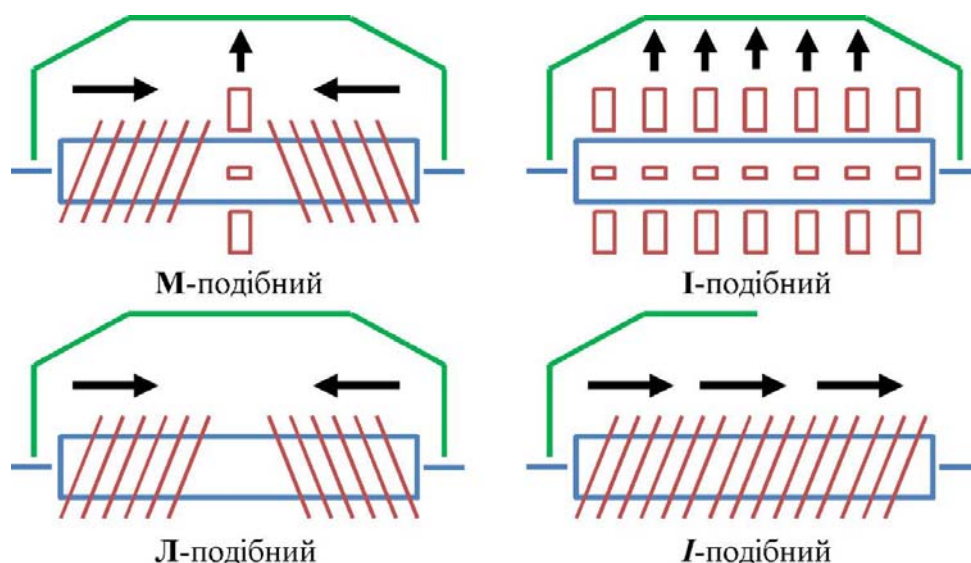


Рис. 1. Типи конструкцій робочих органів змішувачів-аераторів гное-компостної суміші.

Основними конструктивними елементами, з яких складаються фрезерно-барабанні робочі органи є барабан, лопаті похилі, лопаті прямі або гвинт. Прямі лопаті розташовані радіально по центру барабана. Похилі лопаті встановлені симетрично відносно центру барабана (відповідно симетрично відносно прямих лопатей) і закріплені по гвинтових лініях навивки. Кут атаки похилих лопатей відмінний від кута гвинтової лінії [2, 3].

Під час роботи фрезерно-барабанний робочий орган здійснює одночасно поступальний рух зі швидкістю v та обертальний рух зі швидкістю ω і, за рахунок цього взаємодіє з забуртованим компостним матеріалом. Похилі лопаті або гвинт, врізаючись в структуру компостного матеріалу, відокремлюють певну частину його й одночасно змішують, розпушують, пересувають і перекидають позаду барабана формуючи новий бурт. Прямі лопаті, які працюють у зоні найбільшої висоти бурту, виконують відокремлення матеріалу з масиву бурту, перекидають його з одноразовим формуванням нового бурта. Важливим параметром є наявність технологічно вільної зони за робочим органом, що обмежує можливість повторного перекидання компостної маси. Під час роботи як прямих, так і похилих лопатей (гвинта) в зоні польоту відокремлених часток відбувається насичення суміші киснем і звітнення двоокису вуглецю, що утворився внаслідок мікробіологічних процесів. Перелопачування буртів також супроводжується зниженням температури маси, звітненням вологи та інших газоподібних речовин.

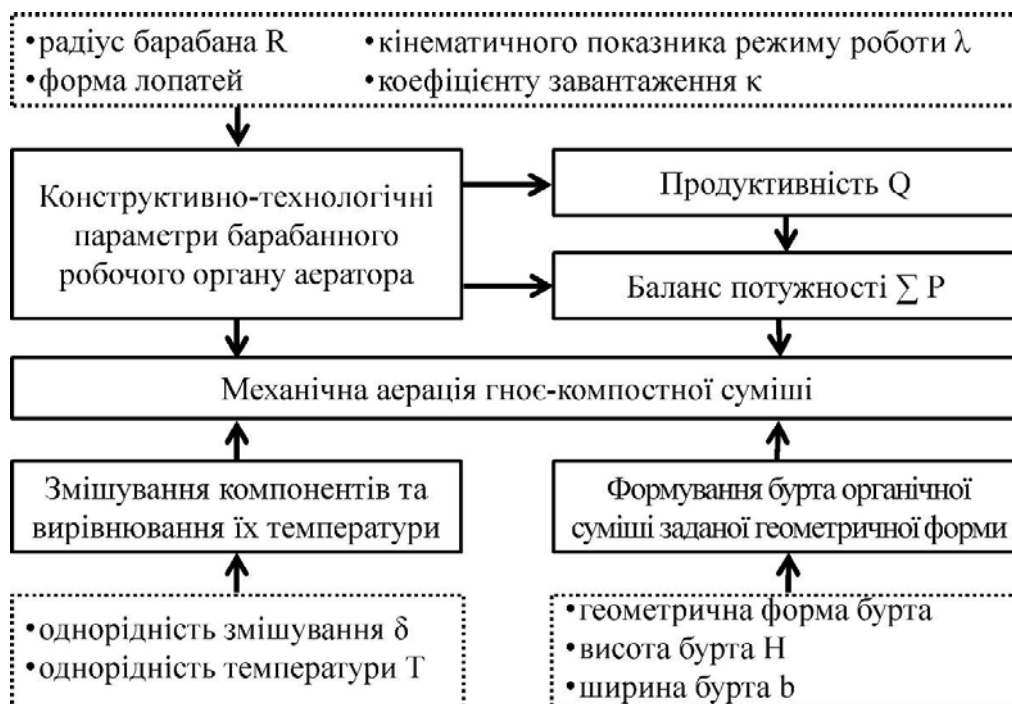


Рис. 2. Взаємозв'язок техніко-технологічних параметрів механізованого процесу компостування органічних відходів.

Аналіз технологічних операцій забезпечення механізованого процесу компостування органічних відходів дозволив виділити дві функції: змішування компонентів та вирівнювання їх температури і формування бурта органічної суміші заданої геометричної форми (рис. 2).

Мета досліджень. Дослідити технологічний процес змішування компонентів гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом та визначити діапазони його раціональних параметрів.

Результати досліджень. Для реалізації чисельного моделювання було складено розрахункову схему процесу змішування гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом (рис. 3).

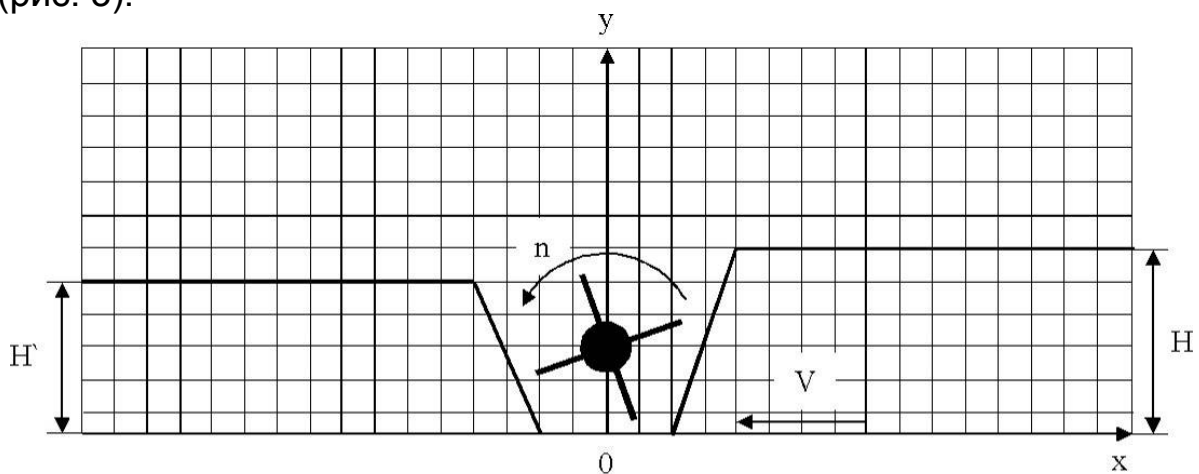


Рис. 3. Розрахункова схема процесу змішування гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом.

Побудову фізико-математичної моделі процесу змішування гноє-компостної суміші робочим органом змішувача-аератора виконаємо з використанням пакету програмного забезпечення Star CCM+. Гноє-компостна суміш представляється у вигляді сферичних частинок радіусом 2,5 мм. При моделюванні процесу зазначеним методом задаються початкові положення частинок гноє-компостної суміші. Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожну частинку в кожній інтервал часу. Для кожної частинки обчислюється результуюча сила і також вирішується задача Коші на вибраному відрізьку часу, результатом якої є початкові дані для наступного кроку. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: поле сили тяжіння, модель дискретних елементів, лагранжева багатофазність, модель багатофазної взаємодії [4–7].

Для чисельного моделювання процесу змішування гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом були прийняті конструктивно-технологічні параметри, які наведені в табл. 1. За

фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання робочого органу n , лінійна швидкість переміщення робочого органу (або гноє-компостної суміші) V і висота вихідного бурта H (межі варіювання представлені в табл. 2).

1. Конструктивно-технологічні параметри робочого органу змішувача-аератора

Величина	Позначення	Значення
Зовнішній радіус, м	R	0,2
Радіус валу, м	r	0,05
Товщина лопатей, м	δ	0,01
Висота розташування, м	h	0,22

2. Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

Рівні варіацій факторів	Фактори		
	Частота обертання робочого органу n , об/хв	Лінійна швидкість переміщення робочого органу (або гноє-компостної суміші) V , м/с	Висота вихідного бурта H , м
Верхній рівень (+)	200	0,05	0,3
Основний рівень (0)	400	0,15	0,5
Нижній рівень (-)	600	0,25	0,7
Інтервал варіацій факторів	200	0,1	0,2

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – $3^3 = 27$, матриця якого представлена в табл. 3.

3. Матриця плану чисельного моделювання

№ дослідів	n , об/хв.	V , м/с	H , м	κ	λ
1	200	0,05	0,3	0,5	83,8
2	200	0,05	0,5	1	83,8
3	200	0,05	0,7	1,5	83,8
4	200	0,15	0,3	0,5	27,9
5	200	0,15	0,5	1	27,9
6	200	0,15	0,7	1,5	27,9
7	200	0,25	0,3	0,5	16,8
8	200	0,25	0,5	1	16,8
9	200	0,25	0,7	1,5	16,8
10	400	0,05	0,3	0,5	167,6
11	400	0,05	0,5	1	167,6
12	400	0,05	0,7	1,5	167,6
13	400	0,15	0,3	0,5	55,9
14	400	0,15	0,5	1	55,9

Продовження табл. 3

№ дослідю	n, об/хв.	V, м/с	H, м	κ	λ
15	400	0,15	0,7	1,5	55,9
16	400	0,25	0,3	0,5	33,5
17	400	0,25	0,5	1	33,5
18	400	0,25	0,7	1,5	33,5
19	600	0,05	0,3	0,5	251,3
20	600	0,05	0,5	1	251,3
21	600	0,05	0,7	1,5	251,3
22	600	0,15	0,3	0,5	83,8
23	600	0,15	0,5	1	83,8
24	600	0,15	0,7	1,5	83,8
25	600	0,25	0,3	0,5	50,3
26	600	0,25	0,5	1	50,3
27	600	0,25	0,7	1,5	50,3

Також в табл. 3 приведені значення деяких розрахованих конструктивно-технологічних параметрів: коефіцієнт завантаження κ і кінематичний показник режиму роботи λ . В якості критерію чисельного моделювання було прийнято висота отриманого бурта гноє-компостної суміші і якість її змішування, яка визначалася коефіцієнтом варіації:

$$\delta = 1 - \frac{1}{\bar{C}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}}; \quad (1)$$

де \bar{C} – середня концентрація матеріалу в бурті; C_i – концентрація матеріалу в i -й зоні бурта; n – кількість зон в бурті.

Слід зазначити, що бурт був поділений на 10 горизонтальних зон (рис. 4).

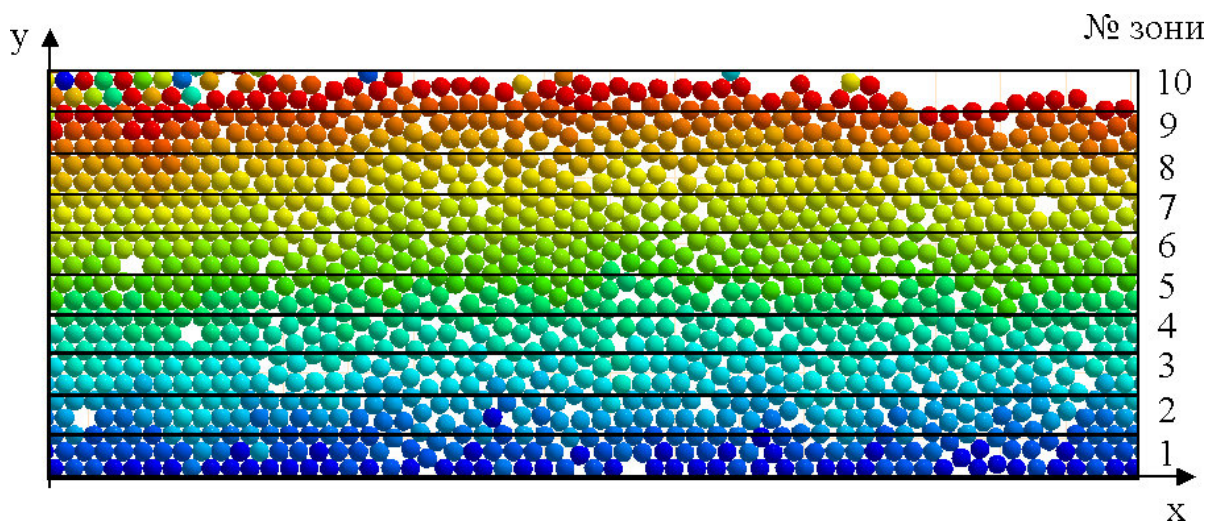


Рис. 4. Схема розміщення зон бурта.

В результаті моделювання було отримано візуалізацію технологічного процесу змішування гное-компостної суміші і формування бурта (рис. 5). Як видно з рис. 5 сформований бурт має меншу висоту на відміну від початкового бурта. Окрім цього візуально видно, що для кожного дослідження якість змішування відрізняється. На підставі цього можна проводити кількісну оцінку технологічного процесу змішування.

Отримані дані зведені в табл. 4, в якій додатково розраховано ступень зменшення бурта після виконання технологічного процесу аерації за формулою:

$$\chi = \frac{H'}{H}. \quad (2)$$

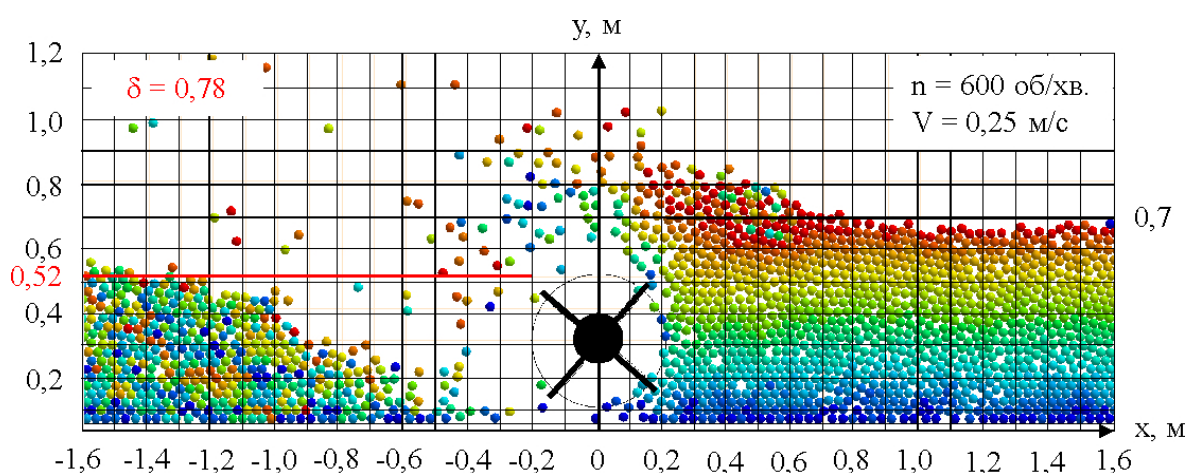


Рис. 5. Візуалізація технологічного процесу змішування гное-компостної суміші і формування бурта.

4. Результати чисельного моделювання

№	H', м	χ	δ	№	H', м	χ	δ	№	H', м	χ	δ
1	0,21	0,70	0,77	10	0,06	0,20	0,79	19	0,05	0,17	0,61
2	0,32	0,64	0,87	11	0,15	0,30	0,63	20	0,22	0,44	0,74
3	0,49	0,70	0,83	12	0,30	0,43	0,56	21	0,31	0,44	0,62
4	0,18	0,60	0,83	13	0,08	0,27	0,70	22	0,03	0,10	0,59
5	0,37	0,74	0,83	14	0,27	0,54	0,75	23	0,18	0,33	0,65
6	0,57	0,81	0,85	15	0,51	0,73	0,73	24	0,33	0,47	0,65
7	0,21	0,70	0,80	16	0,08	0,27	0,61	25	0,07	0,23	0,75
8	0,40	0,80	0,79	17	0,33	0,66	0,73	26	0,26	0,52	0,83
9	0,65	0,93	0,93	18	0,58	0,83	0,86	27	0,52	0,74	0,78

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності висоти сформованого бурта від факторів досліджень:

$$H' = 0,268866 + 0,296528 H + 0,319444 H^2 - 0,00103403 n - 0,000208333 H n + 9,02778 \cdot 10^{-7} n^2 - 1,05417 V + 2,54167 H V + 0,000125 n V + 0,944444 V^2. \quad (3)$$

Графічна інтерпретація залежності (3) представлена на рис. 6.

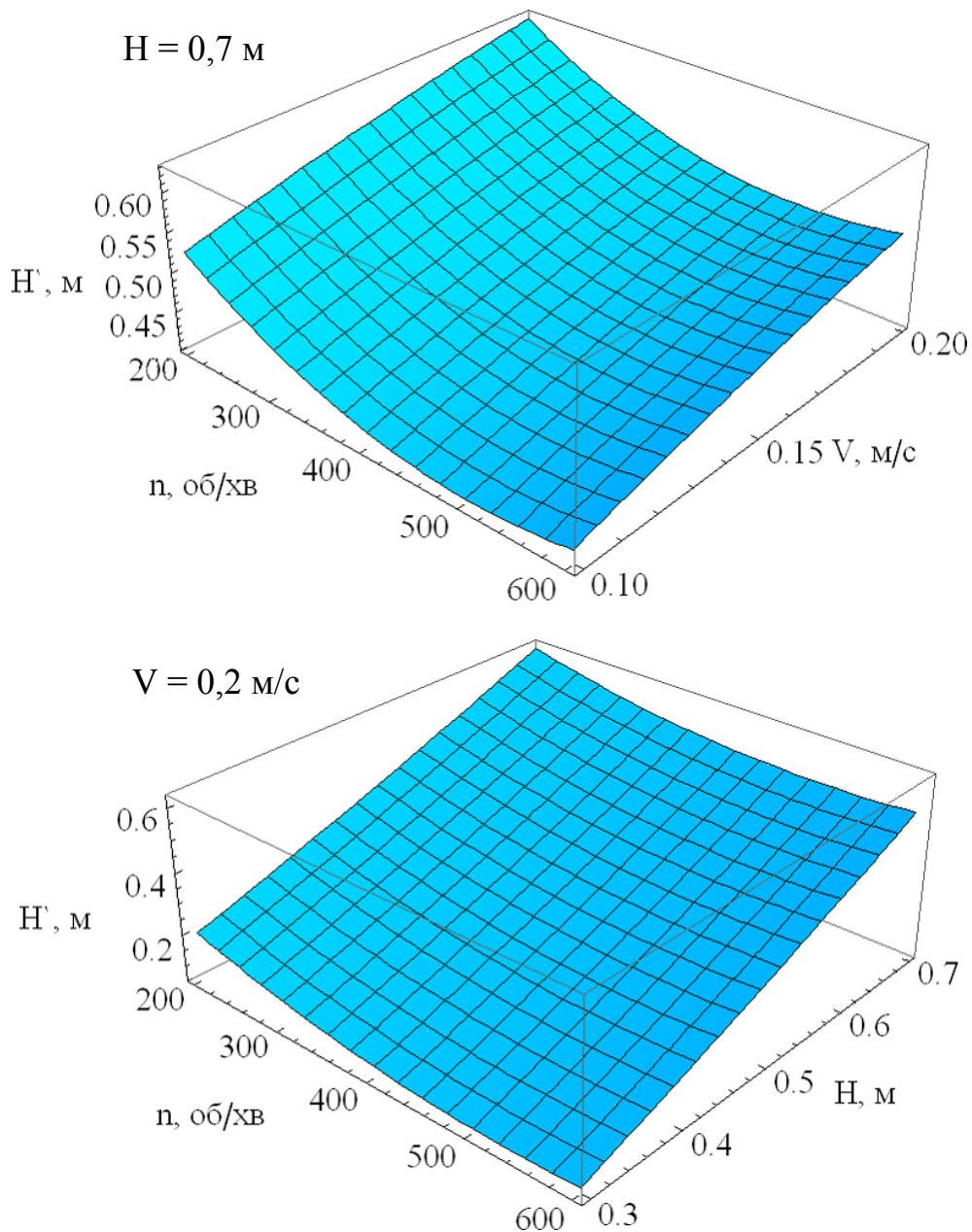


Рис. 6. Залежність висоти сформованого бурта від факторів досліджень.

Аналізуючи рис. 6 можна зробити висновок про те, що із збільшенням лінійної швидкості переміщення робочого органу і висоти вихідного бурта збільшується і висота сформованого бурта. Однак для певної частоти обертання ($n = 537 \text{ об/хв}$) спостерігається мінімальне значення висота сформованого бурта.

Апроксимація отриманих даних в програмному пакеті Mathematica дала змогу встановити рівняння залежності коефіцієнта варіації якості змішування від факторів досліджень:

$$\delta = 1,0964 + 0,413927 H - 0,569826 H^2 - 0,00161823 n -$$

$$- 0,00023426 H n + 1,44573 \cdot 10^{-6} n^2 - 1,94199 V + 2,33282 H V + 0,00149216 n V + 1,84121 V^2. \quad (4)$$

Графічна інтерпретація залежності (4) представлена на рис. 7.

Аналіз рис. 7 і рівняння (4) показує, що із поступовим збільшенням лінійної швидкості переміщення робочого органу і висоти вихідного бурта спостерігається збільшення коефіцієнта варіації якості змішування. Оптимальним є значення частоти обертання робочого органу ($n = 518$ об/хв.), при якому коефіцієнта варіації є мінімальним.

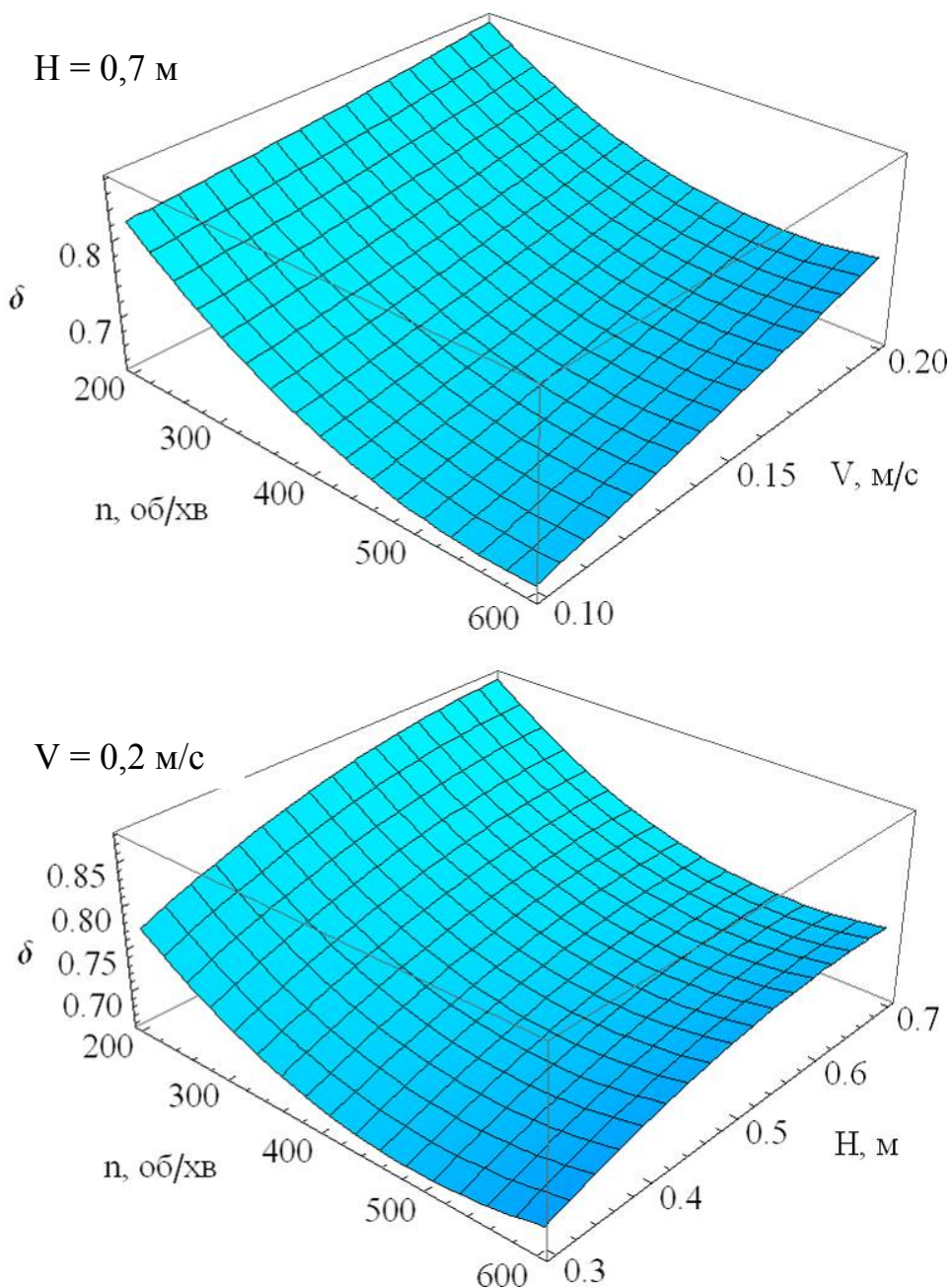


Рис. 7. Залежність коефіцієнта варіації якості змішування від факторів досліджень.

Згідно даних табл. 3 і табл. 4 з використанням програмного пакету Mathematica складено математичний вираз, який зв'язав коефіцієнта варіації якості змішування δ із коефіцієнтом завантаження k і кінематичним показником режиму роботи λ :

$$\delta = 0,667428 + 0,298578 k - 0,0911722 k^2 - 0,00112821 \lambda - 0,000888689 k \lambda + 4,88711 \cdot 10^{-6} \lambda^2. \quad (5)$$

Графічна інтерпретація залежності (5) представлена на рис. 8.

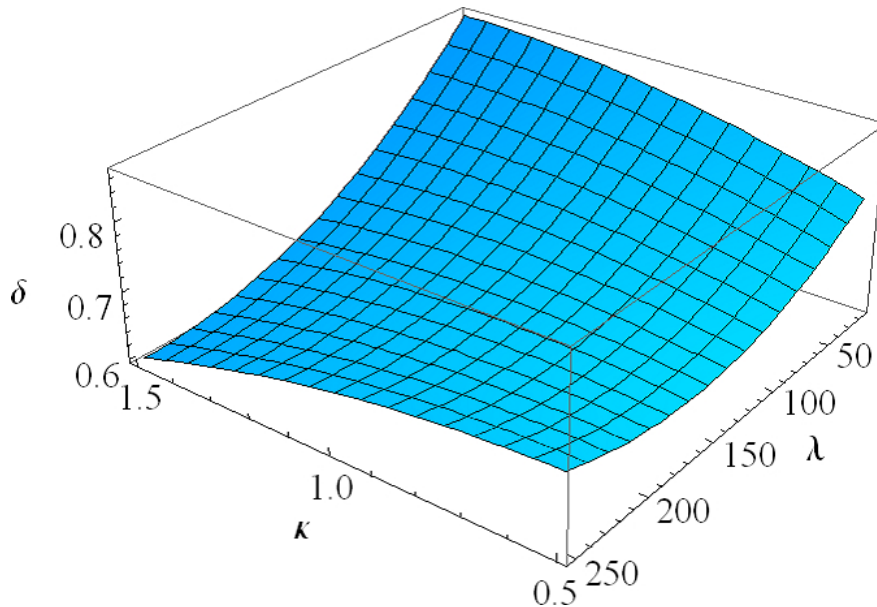


Рис. 8. Залежність коефіцієнта варіації якості змішування δ від коефіцієнта завантаження k і кінематичного показника режиму роботи λ .

З рис. 8 видно, що при низькому значенні кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 16,8$) із збільшенням коефіцієнта завантаження збільшується і коефіцієнта варіації. На відміну від високого значення кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 251,3$), при якому із збільшенням коефіцієнта завантаження коефіцієнта варіації зменшується.

Висновок. В результаті чисельного моделювання технологічного процесу змішування компонентів гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом встановлені залежності зміни висоти сформованого бурта H' , коефіцієнта варіації якості змішування δ від коефіцієнта завантаження k і кінематичного показника режиму роботи λ . Встановлено, що при низькому значенні кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 16,8$) із збільшенням коефіцієнта завантаження збільшується і коефіцієнта варіації. На відміну від високого значення кінематичного показника режиму роботи ($\lambda = 251,3$), при якому із збільшенням коефіцієнта завантаження коефіцієнта варіації зменшується.

Список літератури

1. *Технологія прискороного біотермічного компостування гною з органічними вологопоглинальними відходами АПК : рекомендації* // О. О. Ляшенко, Г. Є. Мовсесов / Інститут механізації тваринництва УААН. – Запоріжжя: ІМТ УААН, 2007. – 32 с.
2. *Павленко С. І.* Новітні технічні засоби переробки органічних відходів / С. І. Павленко, О. О. Ляшенко, А. А. Поволоцький, Ю. А. Філоненко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Технічні системи і технології тваринництва». – Х., 2013. – Вип. 132. – С. 193–200.
3. *Павленко С. І.* Технічне забезпечення технологій прискороного компостування органічних відходів тваринного походження / С. І. Павленко, О. О. Ляшенко, Д. М. Лисенко, В. І. Харитонов // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2011. – №30. – С. 165–174.
4. *Komiwes V.* Simulation of granular flow in a fluid applied to sedimentation / *Komiwes V., Mege P., Meimon Y., Herrmann H.* // *Granular Matter*. – 2006. – № 8 (1). – P. 41–54.
5. *Pertti Broas.* Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. – Trans. VTT Symposium “Virtual prototyping”. – Espoo, Finland, February 1 st, 2001. – P. 73–81. (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2001/S210.pdf>).
6. *Johnson K. L.* Contact Mechanics / *K. L. Johnson* // Cambridge University Press. – 1987. – 434 p.
7. *Di Renzo, Alberto and Di Maio, Francesco Paolo.* 2004. “Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes”, *Chemical Engineering Science* 59. – P. 525–541.

References

1. *Lyashenko, O. O., Movsesov, H. Ye.* (2007). *Tekhnolohiya pryskorenoho biotermichnoho kompostuvannya hnoyu z orhanichnymy volohopohlynal'nymy vidkhodamy APK : rekomendatsiyi* [Technology accelerated biothermal composting of manure with organic waste-absorbing APK : recommendations]. Instytut mekhanizatsiyi tvarynnytstva UAAN. Zaporizhzhya: IMT UAAN, 32.
2. *Pavlenko, S. I., Lyashenko, O. O., Povolots'kyi, A. A., Filonenko, Yu. A.* (2013). *Novitni tekhnichni zasoby pererobky orhanichnykh vidkhodiv* [Latest technologies of processing organic waste]. Bulletin of HNTUSH im. P. Vasilenko, "Technical systems and technologies of livestock.", Kh., Vyp. 132, 193–200.
3. *Pavlenko, S. I., Lyashenko, O. O., Lysenko, D. M., Kharytonov, V. I.* (2011). *Tekhnichne zabezpechennya tekhnolohiy pryskorenoho kompostuvannya orhanichnykh vidkhodiv tvarynnoho pokhodzhennya* [Technical support technology for accelerated composting of organic waste of animal origin]. Scientific Bulletin of Lugansk National Agrarian University. Series: technical sciences. Luhans'k: Vydavnytstvo LNAU, 30, 165–174.
4. *Komiwes, V., Mege, P., Meimon, Y., Herrmann, H.* (2006). Simulation of granular flow in a fluid applied to sedimentation. *Granular Matter*, 8 (1), 41–54.
5. *Pertti, Broas.* (2001). Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. Trans. VTT Symposium “Virtual prototyping”. Espoo, Finland, February 1st, 73–81. (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2001/S210.pdf>).
6. *Johnson, K. L.* (1987). *Contact Mechanics*. Cambridge University Press, 434.
7. *Di Renzo, Alberto and Di Maio, Francesco Paolo.* (2004). “Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes”, *Chemical Engineering Science* 59, 525–541.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГНОЕ-КОМПОСТНОЙ СМЕСИ ЛОПАСТНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

С. И. Павленко

Аннотация. В результате численного моделирования технологического процесса смешивания компонентов гное-компостной смеси лопастным рабочим органом с использованием программного пакета Star CCM + установлены зависимости изменения высоты сформированного бурта H , коэффициента вариации качества смешивания δ от коэффициента загрузки K и кинематического показателя режима работы λ . Гное-компостная смесь представляется в виде сферических частиц радиусом 2,5 мм. При моделировании процесса указанным методом задаются исходные положения частиц гное-компостной смеси. Затем, исходя из этих исходных данных, заданных физических законов контактного взаимодействия, вычисляются силы, действующие на каждую частицу в каждой интервал времени. Для каждой частицы вычисляется результирующая сила и также решается задача Коши на выбранном отрезке времени, результатом которой является исходные данные для следующего шага. В качестве физических моделей для численного моделирования были выбраны следующие: поле силы тяжести, модель дискретных элементов, лагранжевая многофазность, модель многофазного взаимодействия. Численное моделирование было проведено по полному факторному эксперименту с общим количеством опытов – 27. В результате моделирования было получено визуализацию технологического процесса смешивания гное-компостной смеси и формирование бурта. Установлено, что при низком значении кинематического показателя режима работы ($\lambda = 16,8$) с увеличением коэффициента загрузки увеличивается и коэффициент вариации. В отличие от высокого значения кинематической показателя режима работы ($\lambda = 251,3$), при котором с увеличением коэффициента загрузки коэффициент вариации уменьшается.

Ключевые слова: компост, бурт, смеситель-аэратор, численное моделирование, коэффициент вариации, коэффициент загрузки, кинематическая показатель

NUMERICAL MODELING OF MIXING OF COMPONENTS PUS-COMPOST VANE MIXTURE OF BODY

S. I. Pavlenko

Abstract. As a result of the numerical simulation of the process of mixing the components pus-compost mixture paddle working body using Star CCM+ The dependence of the height of the formed shoulder H

software package, the quality coefficient of variation δ mix of the load factor K and kinematic mode indicator λ . Pus-compost mixture is represented in the form of spherical particles of 2.5 mm radius. In the simulation process by this method are given assumptions pus-compost mixture particles. Then, on the basis of the initial data given contact interacting physical laws are calculated the forces acting on each particle in each time interval. For each particle is calculated and the resultant force is also solved the Cauchy problem on the selected time interval, the result of which is the input data for the next step. As physical models for the numerical simulation were chosen as follows: gravity field model of discrete elements, Lagrangian multiphase, multi-phase model of interaction. Numerical simulation was conducted on a full factorial experiment with the total number of experiments – 27. As a result of the simulation was obtained visualization process of mixing pus-compost mixture and forming shoulder. It is found that at low kinematic mode index ($\lambda = 16,8$) increases with increasing load factor and the coefficient of variation. Unlike high kinematic mode index ($\lambda = 251,3$), wherein with increasing load factor variation coefficient decreases.

Keywords: compost, shoulder, mixer-aerator, numerical simulation, coefficient of variation, load factor, kinematic component

УДК 658.58:004

ПОБУДОВА ДОРАДЧОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ НА ОСНОВІ БАЗИ ЗНАНЬ

О. В. Надточій, Л. Л. Тімова, кандидати технічних наук

Анотація. Наведено методику побудови дорадчої системи на основі елементів бази знань щодо діагностування зернозбиральних комбайнів, яка базується на зовнішніх ознаках і містить інформацію про відмови гідравлічної системи зернозбиральних комбайнів, їх причини та методи усунення.

Експлуатація комбайна забезпечується оператором – комбайнером, який зазвичай володіє лише поверхневими знаннями щодо конструкції, будови та технологічного процесу роботи машини і ще більш обмеженими знаннями і навиками управління технічним станом (як відомо, нестача і низький рівень кваліфікації кадрів – одна з найгостріших проблем сільськогосподарського виробництва). Це призводить до того, що найчастіше оператор

© О. В. Надточій, Л. Л. Тімова, 2016