

МЕХАНІКА РУХУ ЧАСТИНКИ ПО РАДІАЛЬНІЙ ЛОПАТЦІ ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА

*Г. А. Голуб, доктор технічних наук
О. А. Марус, кандидат технічних наук*

Анотація. Уточнено математичну модель для визначення параметрів руху матеріальних частинок по радіальній лопатці при різних варіантах обертання барабана.

Ключові слова: барабан, радіальна лопатка, рух частинки

Постановка проблеми. Підвищення ефективності роботи пристроїв для перемішування субстратів на основі обертових барабанів знаходить все більше поширення у біотехнологічних процесах ферментації біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами [1–4], а тому обґрунтування методів визначення параметрів руху частинок по радіальній лопатці в обертовому барабані, які дозволять встановити раціональні значення кутової швидкості та конструктивні параметри обертових барабанів потребує подальшого удосконалення.

Аналіз останніх досліджень. Основи механіки руху матеріальних частинок по робочих органах з горизонтальною та вертикальною віссю обертання були закладені у відомій праці академіка П. М. Василенка [5]. Значний обсяг досліджень щодо визначення відносної швидкості руху матеріальної точки по робочих органах з горизонтальною віссю обертання був проведений у роботах [6–8] з метою визначення параметрів робочих органів для розпушування компостів та внесення органічних добрив. Досліджувався також рух компосту по пальцях розпушувальних барабанів при периферійному завантаженні [9–13]. У основному ці дослідження стосувалися визначення механіки руху матеріальних частинок по радіальних робочих органах в обмеженому секторі повороту барабана. Для узагальнення проведених досліджень доцільно визначити основні рівняння, що характеризують механіку руху матеріальних частинок по радіальних лопатках обертового барабана та провести їх аналіз.

Мета досліджень. Визначити узагальнене диференціальне рівняння, яке описує рух матеріальної частинки по радіальній лопатці обертового барабана при різних напрямках його обертання та системах відліку кута повороту від горизонтальної та вертикальної вісі барабана.

Результати досліджень. Розрахункова схема дії сил на матеріальні частинки, що відцентрово рухаються по радіальних лопатках в обертовому барабані для кожного квадранта та при його обертанні проти та за часовою стрілками приведена на рис. 1 та рис. 2 (система відліку кута повороту від горизонтальної вісі).

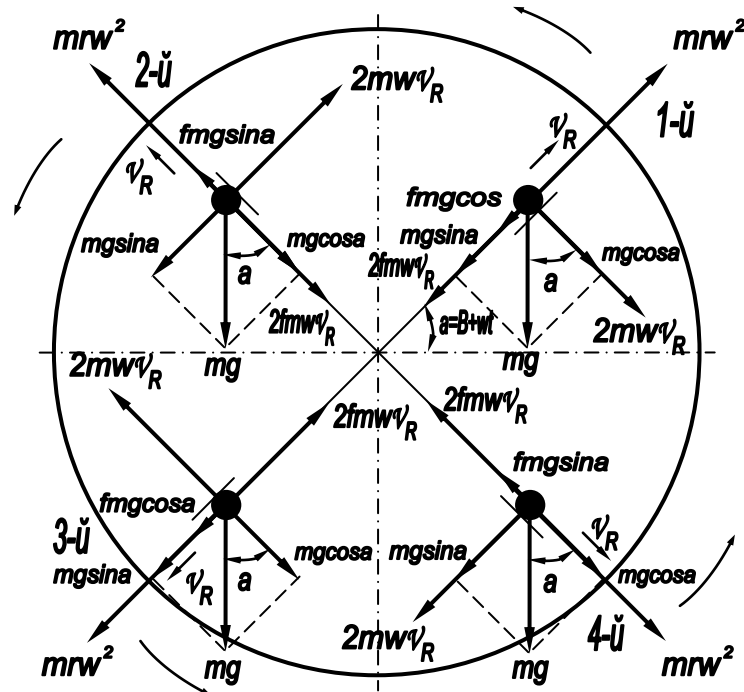


Рис. 1. Схема дії сил на частинку, що рухається відцентрово при обертанні барабана проти часової стрілки та при відліку кута повороту від горизонтальної вісі.

Згідно приведених схем відцентрового руху по радіальних перемішуючих лопатках в обертовому барабані, на матеріальну частинку діють наступні сили: сила тяжіння, коріолісова сила, сили тертя від дії сили тяжіння та коріолісової сили, а також відцентрова сила інерції.

При відцентровому русі частинки та обертанні барабана проти часової стрілки, а також при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці для кожного квадранта запишуться у наступному вигляді:

1 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 0 + (B + wt)$:

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \cos(B + wt) - mg \sin(B + wt); \quad (1)$$

2 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 90 + (B + wt)$:

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \sin(B + wt) - mg \cos(B + wt); \quad (2)$$

3-й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 180 + (B + wt)$:

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \cos(B + wt) + mg \sin(B + wt); \quad (3)$$

4-й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 270 + (B + wt)$:

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \sin(B + wt) + mg \cos(B + wt), \quad (4)$$

де: m – маса частинки, кг; ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с; r – поточний радіус положення частинки на лопатці, м; g – прискорення земного тяжіння, м/с²; f – коефіцієнт тертя матеріальної частинки по матеріалу лопатки, відн. од.; B – початковий кут повороту лопатки барабана, рад.; t – час повороту барабана, с; u_R – мінімальна відносна швидкість руху частинки по лопатці, м/с.

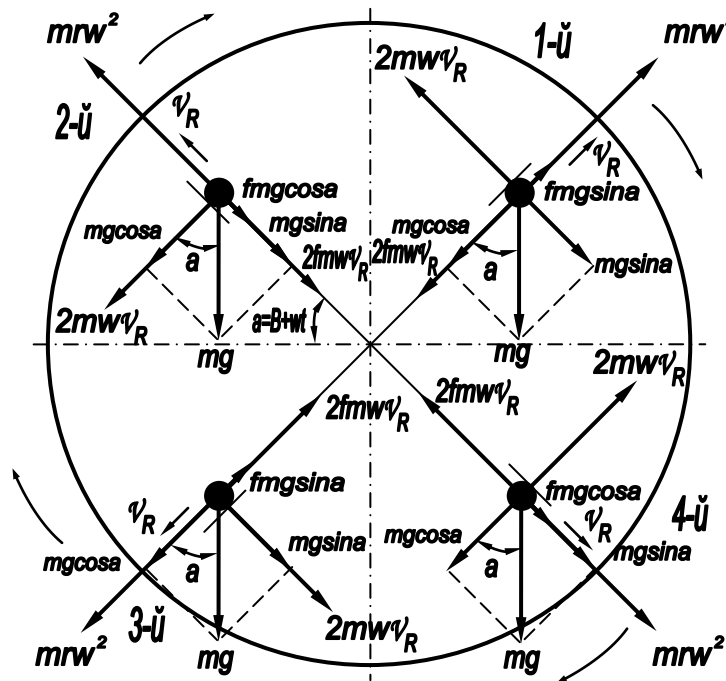


Рис. 2. Схема дії сил на частинку, що рухається відцентрово при обертанні барабана за часовою стрілкою та при відліку кута повороту від горизонтальної вісі.

Зважаючи на загальновідомі тригонометричні залежності, а саме:

$$\sin(90 + \alpha) = \cos \alpha; \cos(90 + \alpha) = -\sin \alpha; \quad (5)$$

$$\sin(180 + \alpha) = -\sin \alpha; \cos(180 + \alpha) = -\cos \alpha; \quad (6)$$

$$\sin(270 + \alpha) = -\cos \alpha; \cos(270 + \alpha) = \sin \alpha, \quad (7)$$

можна, наприклад, у перше рівняння підставити значення кута повороту лопатки і отримати відповідні для даного квадранту диференційні рівняння.

При відцентровому русі частинки та обертанні барабану за часовою стрілкою, а також при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці для кожного квадранта запишуться у наступному вигляді:

2 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 0 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \cos(B + wt) - mg \sin(B + wt); \quad (8)$$

1 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 90 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \sin(B + wt) - mg \cos(B + wt); \quad (9)$$

4 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 180 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \cos(B + wt) + mg \sin(B + wt); \quad (10)$$

3 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 270 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \sin(B + wt) + mg \cos(B + wt). \quad (11)$$

Зважаючи на загальновідомі тригонометричні залежності (5)–(7), можна також, наприклад, у перше рівняння підставити значення кута повороту лопатки і отримати відповідні для даного квадранту диференційні рівняння. При цьому бачимо, що при відцентровому русі частинки по лопатці та обертанні барабану проти та за часовою стрілкою, а також при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці ідентичні зі зміщенням на один квадрант.

Аналогічна розрахункова схема дії сил на матеріальні частинки, що відцентрово рухаються по радіальних перемішуючих лопатках в обертовому барабані для кожного квадранта та при його обертанні проти та за часовою стрілками, але при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі, приведена на рис. 3 та рис. 4.

При відцентровому русі частинки та обертанні барабану за часовою стрілкою, а також при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці для кожного квадранта запишуться у наступному вигляді:

1 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 0 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \sin(B + wt) - mg \cos(B + wt); \quad (12)$$

4 – й квадрант – кут повороту $(B + wt) = 90 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \cos(B + wt) + mg \sin(B + wt); \quad (13)$$

3 – ʎ квадрант – кут повороту $(B + wt) = 180 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \sin(B + wt) + mg \cos(B + wt); \quad (14)$$

2 – ʎ квадрант – кут повороту $(B + wt) = 270 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \cos(B + wt) - mg \sin(B + wt). \quad (15)$$

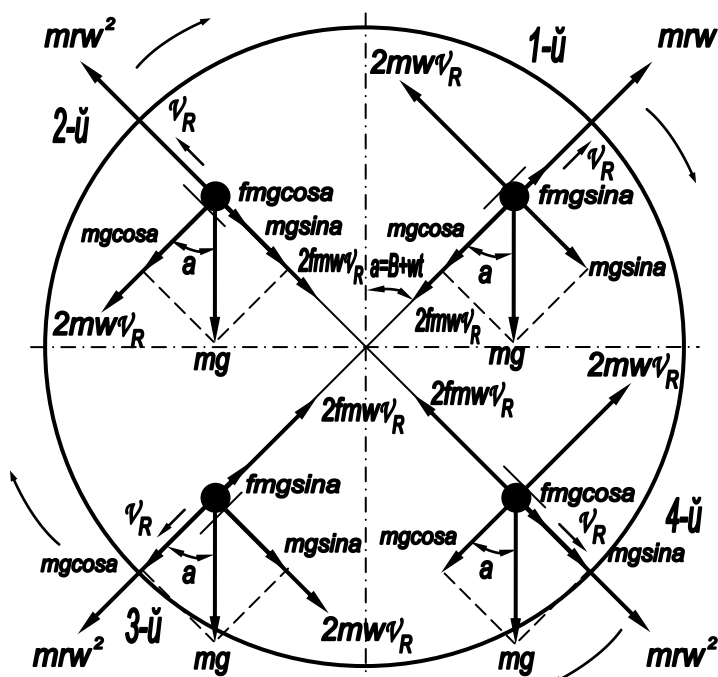


Рис. 3. Схема дії сил на частинку, що рухається відцентрово при обертанні барабана за часовою стрілкою та при відліку кута повороту від вертикальної вісі.

Отримати відповідні для кожного даного квадранту диференційні рівняння можна також враховуючи загальновідомі тригонометричні залежності (5)–(7).

При відцентровому русі частинки та обертанні барабану проти часової стрілки, а також при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці для кожного квадранта запишуться у наступному вигляді:

2 – ʎ квадрант – кут повороту $(B + wt) = 0 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \sin(B + wt) - mg \cos(B + wt); \quad (16)$$

3 – ʎ квадрант – кут повороту $(B + wt) = 90 + (B + wt)$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \cos(B + wt) + mg \sin(B + wt); \quad (17)$$

$$4 - \ddot{\psi} \text{ квадрант} - \text{кут повороту } (B + wt) = 180 + (B + wt) \quad (18)$$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \sin(B + wt) + mg \cos(B + wt);$$

$$1 - \ddot{\psi} \text{ квадрант} - \text{кут повороту } (B + wt) = 270 + (B + wt) \quad (19)$$

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} - fmg \cos(B + wt) - mg \sin(B + wt).$$

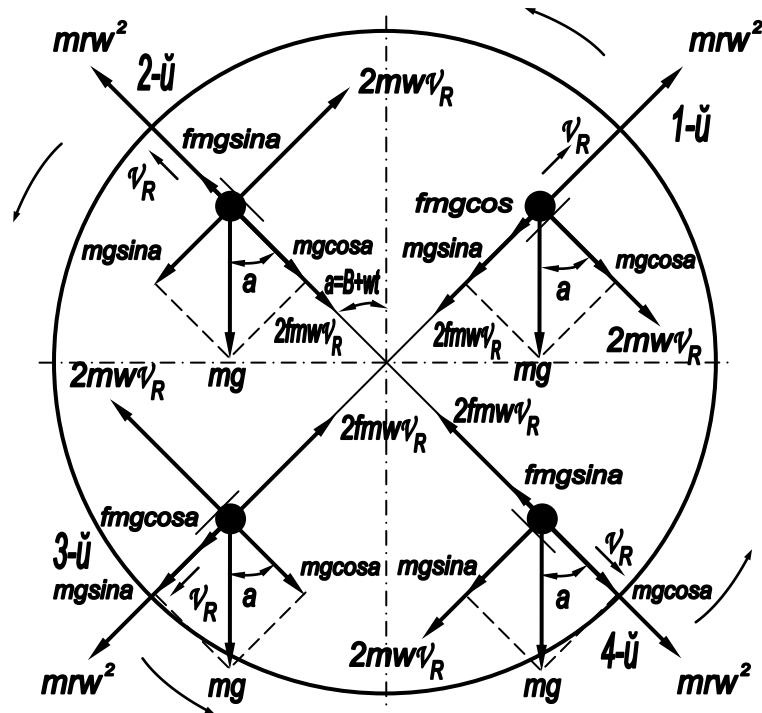


Рис. 4. Схема дії сил на частинку, що рухається відцентрово при обертанні барабана проти часової стрілки та при відліку кута повороту від вертикальної вісі.

Залежності (5)–(7) також дозволяють при підстановці значення кута повороту лопатки отримати відповідні для даного квадранту диференційні рівняння.

При цьому бачимо, що при відцентровому русі частинки по лопатці та обертанні барабана проти та за часовою стрілкою, а також при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі, диференційні рівняння руху частинки по лопатці також ідентичні, як і в першому випадку, зі зміщенням на один квадрант.

Розглянемо також схему дії сил на матеріальні частинки, що доцентрово рухаються по радіальних лопатках в обертовому барабані для кожного квадранта та при його обертанні проти часової стрілки (рис. 5) для випадку відліку кута повороту від горизонтальної вісі. Запишемо для прикладу диференційне рівняння доцентрового руху частинки по лопатці для першого квадранту:

$$-m \frac{dv_R}{dt} = -m \frac{d^2 r}{dt^2} = mrw^2 - 2fmw \frac{dr}{dt} + fmg \cos(B + wt) - mg \sin(B + wt), \quad (20)$$

або

$$-m \frac{dv_R}{dt} = -m \frac{d^2 r}{dt^2} = (mrw^2 - mg \sin(B + wt)) - f \left(2mw \frac{dr}{dt} - mg \cos(B + wt) \right), \quad (22)$$

та порівняємо його із диференціальним рівнянням (1) відцентрового руху частинки по лопатці для першого квадранту та обертанні барабана також проти часової стрілки та при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі (рис 1), яке приведене до вигляду:

$$m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = (mrw^2 - mg \sin(B + wt)) - f \left(2mw \frac{dr}{dt} + mg \cos(B + wt) \right). \quad (23)$$

Із загального вигляду рівнянь (22) та (23) можна зробити висновок, що диференціальні рівняння доцентрового та відцентрового руху частинки по лопатці ідентичні та зводяться до одного виду при зміні знаків (напрямок дії сил) сили інерції та сили тертя від дії сили тяжіння. При цьому знак рівнодіючої сил mrw^2 та $mg \sin(B + wt)$ визначається їх абсолютною величиною, а напрямком коріолісової сили – знаком величини $\frac{dr}{dt}$.

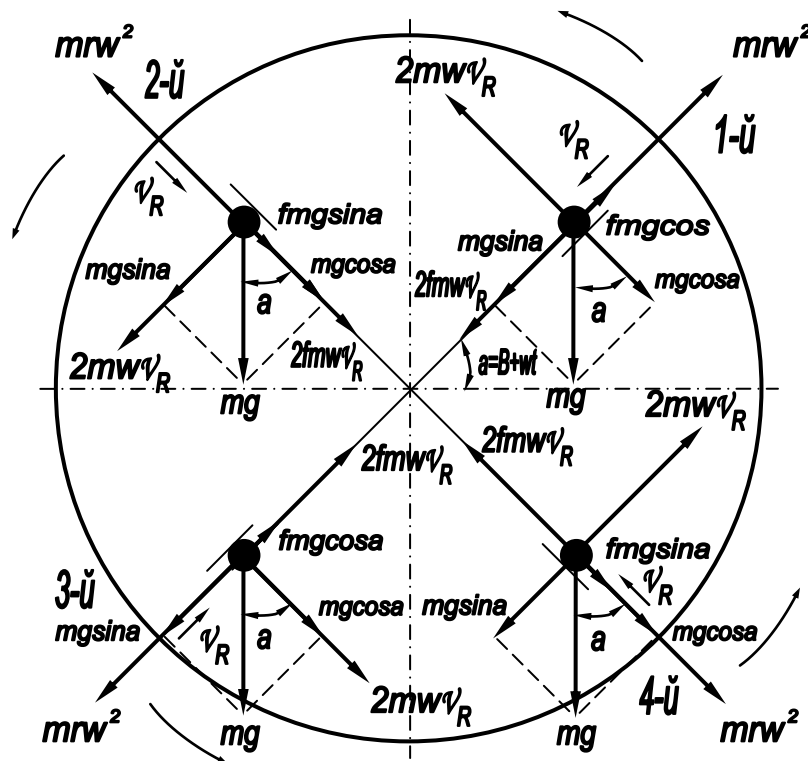


Рис. 5. Схема дії сил на частинку, що рухається доцентрово при обертанні барабана проти часової стрілки та при відліку кута повороту від горизонтальної вісі.

Висновок. Диференційні рівняння при відцентровому русі частинки по лопатці й обертанні барабану проти, а також за часовою стрілкою та при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі ідентичні диференційним рівнянням відцентрового руху частинки по лопатці й обертанні барабану проти, а також за часовою стрілкою при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі зі зміщенням на один квадрант. Диференційні рівняння руху матеріальної частинки по радіальних лопатках при відцентровому русі й обертанні барабана проти часової стрілки при системі відліку кута повороту від вертикальної вісі повністю ідентичні диференційним рівнянням руху матеріальної частинки по радіальних лопатках при відцентровому русі й обертанні барабана проти часової стрілки при системі відліку кута повороту від горизонтальної вісі. Диференційні рівняння руху матеріальної частинки по радіальних лопатках барабана при доцентровому русі повністю ідентичні диференційним рівнянням руху матеріальної частинки по радіальних лопатках при відцентровому русі.

Список літератури

1. *Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами* / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець та ін. ; за ред. Г. А. Голуба]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с.
2. *Голуб Г. А.* Визначення параметрів руху частинок біомаси під час обертання метантенка / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 212, ч. 2. – 336 с. – С. 254–264.
3. *Кухарець С. М.* Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – 387 с. – С. 356–364.
4. *Кухарець С. М.* Дослідження енергетичних показників обертового біогазового реактора / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2015. – Вип. №2 (101). – 348 с. – С. 200–206.
5. *Василенко П. М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 284 с.
6. *Марченко Н. М.* Механизация внесения органических удобрений / Н. М. Марченко, Г. И. Личман, А. Е. Шебалкин. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 207 с.
7. *Якубаускас В. И.* Технологические основы механизированного внесения удобрений / В. И. Якубаускас. – М.: Колос, 1973. – 231 с.
8. *Голуб Г. А.* Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи / Г. А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
9. *Голуб Г. А.* Параметри барабанно-дискового розпушувача / Г. А. Голуб, В. О. Заєць // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 10. – С. 48–51.
10. *Голуб Г. А.* Модель барабанно-пальцевого розпушувача компосту з нахилом пальців / Г. А. Голуб // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2005. – Вип. №89. – 391 с. – С. 212–219.

11. Голуб Г. А. Оптимізація параметрів барабанно-пальцевого розпушувача компосту / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 11. – С. 59–61.
12. Голуб Г. А. Радіальна швидкість руху компосту в барабанно-пальцевому розпушувачі / Г. А. Голуб // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2003. – Вип. 21. – С. 484–491.

Аннотация. Уточнена математическая модель для определения параметров центробежного движения материальных частиц по радиальной лопатке при различных вариантах вращения барабана.

Ключевые слова: барабан, радиальная лопатка, движение частицы

Annotation. The mathematical model to determine the parameters of the centrifugal movement of material particles on radial blade variants with different drum is specified.

Key words: drum, radial blade, the movement of particles

УДК 631.171;631.35

СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОЇ ПОЛІТИКИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗБИРАННЯ ХЛІБІВ В УКРАЇНІ ВІТЧИЗНЯНИМИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИМИ КОМБАЙНАМИ

Н. В. Матухно, здобувач

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В. І. Недовєсов, кандидат технічних наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Анотація. Розглянуто стан і головні проблеми в збиранні хліба та запропоновані для вітчизняного комбайнобудівництва основні конструктивно-технологічні характеристики базових моделей перспективних зернозбиральних комбайнів малої, середньої, високої та надвисокої продуктивності з пропускними здатностями відповідно: 1,5–3 кг/с; 3–6 кг/с; 6–15 кг/с; 15–25 кг/с технологічного матеріалу.

Ключові слова: зерно, комбайн, стратегія

© Н. В. Матухно, В. І. Недовєсов, 2016