

Калетнік Г. М.

Янович В. П.

*Вінницький
національний аграрний
університет*

Kaletnik G. M.

Yanovich V. P.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 621.926.3

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРАЦІЙНОГО МЛИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОАКТИВНИХ ПРЕМІКСІВ

Стаття присвячена експериментальним дослідженням основних амплітудно-частотних та енергетичних параметрів дослідної моделі гіраційного млина для реалізації процесу надтонкого здрібнення сипких інгредієнтів при виробництві комплексних преміксів. В результаті було встановлено робочі параметри досліджуваного обладнання за умови мінімізації споживаних енерговитрат на організацію даного технологічного процесу.

Ключові слова: експериментальне дослідження, гіраційний млин, тонкодисперсний помел, режимні та конструктивні параметри, премікси.

Вступ. Одним із факторів збільшення продуктивності тварин та зниження собівартості продукції є їх повноцінне годування. Особливе місце при цьому відводиться насиченню кормів білково-мінеральними вітамінними домішками, які дозволяють значно підвищити якісні характеристики продукту на 25...30 % та скоротити їх витрати на одиницю продукції до 30% [1].

Технологія виробництва преміксів ґрунтується: на прогнозуванні та керуванні ефективністю процесів тонкодисперсного подрібнення та змішування сипких інгредієнтів, особливо під час виготовлення мікросумішей; на застосуванні олій та жирів для стабілізації складу преміксів; на сучасних підходах до нормування вітамінного та мінерального годування сільськогосподарських тварин та птиці.

Склад комплексних преміксів характеризується великою кількістю вітамінних компонентів (до 30 та більше), що використовують для збагачення комбикормів [2, 3]. Вони мають різні фізичні властивості та входять до складу сумішей у мікро - та макродозах, що зумовлює особливості побудови технологічного процесу виробництва та обладнання для його реалізації.

Тому актуальним є пошук інтенсивних, зокрема, комплексних вібраційних методів обробки сипкої сировини.

Мета досліджень. Метою даної роботи є розробка нового високоефективного

обладнання для реалізації тонкодисперсного помелу сипких інгредієнтів при виробництві преміксів за умови мінімізації споживаних енерговитрат на організацію даного процесу. Дана мета досягається шляхом проведення експериментальних досліджень щодо швидкісних, енергетичних характеристик та конструктивної оптимізації параметрів гіраційного млина.

Викладення основного матеріалу. Для виявлення якісної картини споживчих енерговитрат при експлуатації розробленого устаткування, оцінки амплітудно-частотних та технологічних параметрів, які характеризують процес вібраційного помелу сипкої сировини, було проведено експериментальні дослідження на дослідному зразку гіраційного млина [4, 5].

Запропонована конструкція (рис. 1, 2) реалізує ідею комбінованої взаємодії вібраційного та гіраційного руху контейнерів з можливістю реалізації процесу помелу у псевдозрідженому стані технологічного наповнювача.

Принцип роботи гіраційного млина полягає в наступному. При включенні електродвигуна крутний момент через еластичну муфту передається на кінематичний приводний вал з ексцентриситетом l та балансуєчими масами, внаслідок обертання якого відбувається прокочування підшипника відносно гіраційної втулки, змушуючи через приводну платформу одночасно здійснювати горизонтальні коливання та гіраційний рух підпружинених циліндричних контейнерів разом із технологічним



наповнювачем. Оброблювальний матеріал безперервно надходить через завантажувальні патрубки, подрібнюючись внаслідок силового впливу технологічного наповнювача, через патрубки вивантажується з млина.

Такий обертовий та гіраційний технологічний рух виконавчого органу млина

дає можливість значно підвищити силовий вплив технологічного наповнювача на оброблювальний матеріал, а як внаслідок, підвищити продуктивність та якість означеного процесу.

Основна технічна характеристика розробленого обладнання приведена в табл. 1

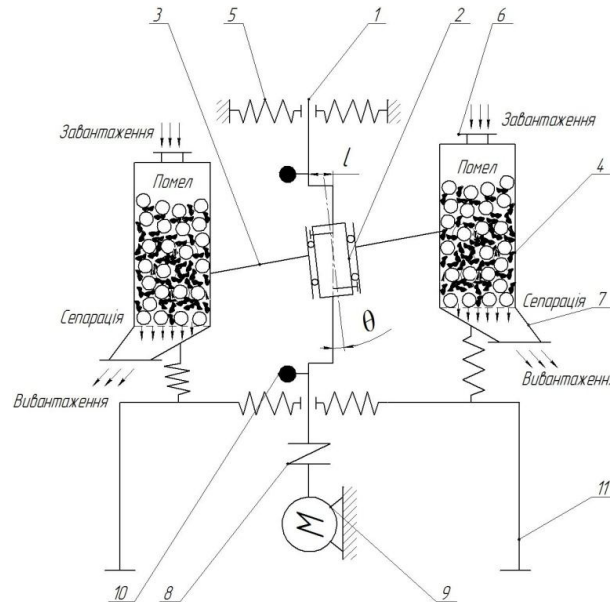


Рис. 1. Принципова схема гіраційного млина: 1 – кінематичний привідний вал; 2 – гіраційна втулка з підшипником; 3 – привідна платформа; 4 – помольні камери; 5 – пружні елементи; 6, 7 – завантажувальна та вивантажувальна горловина; 8 – еластична муфта; 9 – електродвигун; 10 – балансуючі маси; 11 – рама

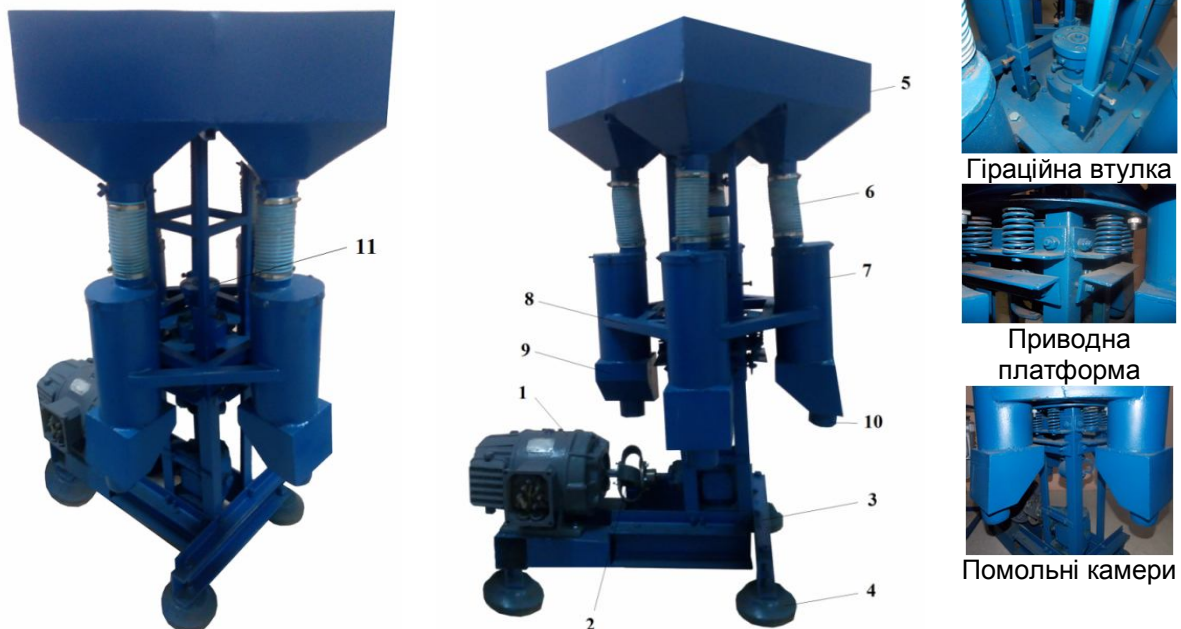
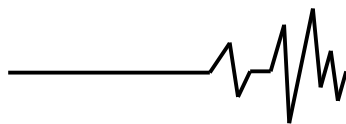


Рис. 2. Конструктивна реалізація гіраційного млина: 1 – електродвигун; 2 – еластична муфта; 3 – станина; 4 – демпфер; 5 – завантажувальний контейнер; 6 – живильні патрубки; 7 – камери помелу; 8 – привідна платформа; 9 – сепараційні відсіки; 10 – вивантажувальні горловини; 11 – гіраційна втулка



Таблиця 1

Технічна характеристика розробленого обладнання

Найменування параметрів	Значення
Режим роботи	безперервний
Рух робочого органа	коливний
Форма коливань	об'ємні
Продуктивність, кг/год	350
Дисперсність матеріалу, см ² /г	4900
Ємкість завантаження, дм ³	4 x 10
Розмір перфорації ситових поверхонь, мм	0,5
Частота обертів приводного вала контейнера, хв ⁻¹	1150
Амплітуда коливань, мм	8
Споживана потужність, кВт	1,3
Габаритні розміри, м:	
довжина	0,8
ширина	0,5
висота	1,8
Маса, кг	120

Для експериментального дослідження амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) гіраційного млина було розроблено реєстратор АЧХ (рис. 3) з незалежним живленням на основі акселерометра LIS3DH компанії STMicroelectronics та комутуюче програмне забезпечення для інтерактивного аналізу вхідних даних [6].

Принцип роботи даного пристрою полягає в наступному: після приєднання датчика до поверхні помольних камер млина вмикають приводний механізм машини, коливний рух якого ініціює включення вбудованого акселерометра, що починає реєстрацію амплітудно-частотних характеристик на мікрокарті пам'яті типу MicroSD. Після зупинки обладнання за допомогою програмного забезпечення і адаптивного шнура отримані АЧХ інтерпретуються у вигляді графічних залежностей і цифрової матриці даних.

Розроблене апаратне і програмне забезпечення дозволяє аналізувати віброприскорення, віброшвидкість, вібропереміщення та частоту створюваних коливань помольних камер млина в режимі реального часу.

Керування та зміна частоти обертання приводного вала електродвигуна здійснювали за допомогою автотрансформатора АОСН-20-220-75, який призначений для роботи зі змінним струмом, регулюючи частоту обертання

вібропривода механічним та дублюючим електронним тахометром UNI-T UT372. Спожиту потужність замірювали електронним ватметром EMF-1, який призначений для вимірювання споживаної потужності у мережі 220В, 16А (максимум). Інтервал контрольного часу протікання експерименту був обраний в межах 90 с.

Для встановлення експлуатаційних параметрів розробленої вібраційної машини було обрано наступні параметри оцінки:

- механічні: A , мм – амплітуда коливань контейнера; ω , рад/с – кутова швидкість приводного вала електродвигуна; U , м/с – віброшвидкість; a , м/с² – віброприскорення та I , м²/с³ інтенсивність коливань;

- енергетичні: N, Вт – споживана потужність вібромашини в залежності від об'єму завантаження технологічного наповнювача;

- технологічні: П, кг/год – продуктивність вібраційного млина в залежності від ступеня помелу сировини; $V_{др}$, % – ступінь завантаження технологічним наповнювачем помольних камер.

На основі проведених експериментальних досліджень отримано графічну інтерпретацію вище згаданих параметрів оцінки, лінеаризацію яких було здійснено методом лінійної фільтрації кривих.

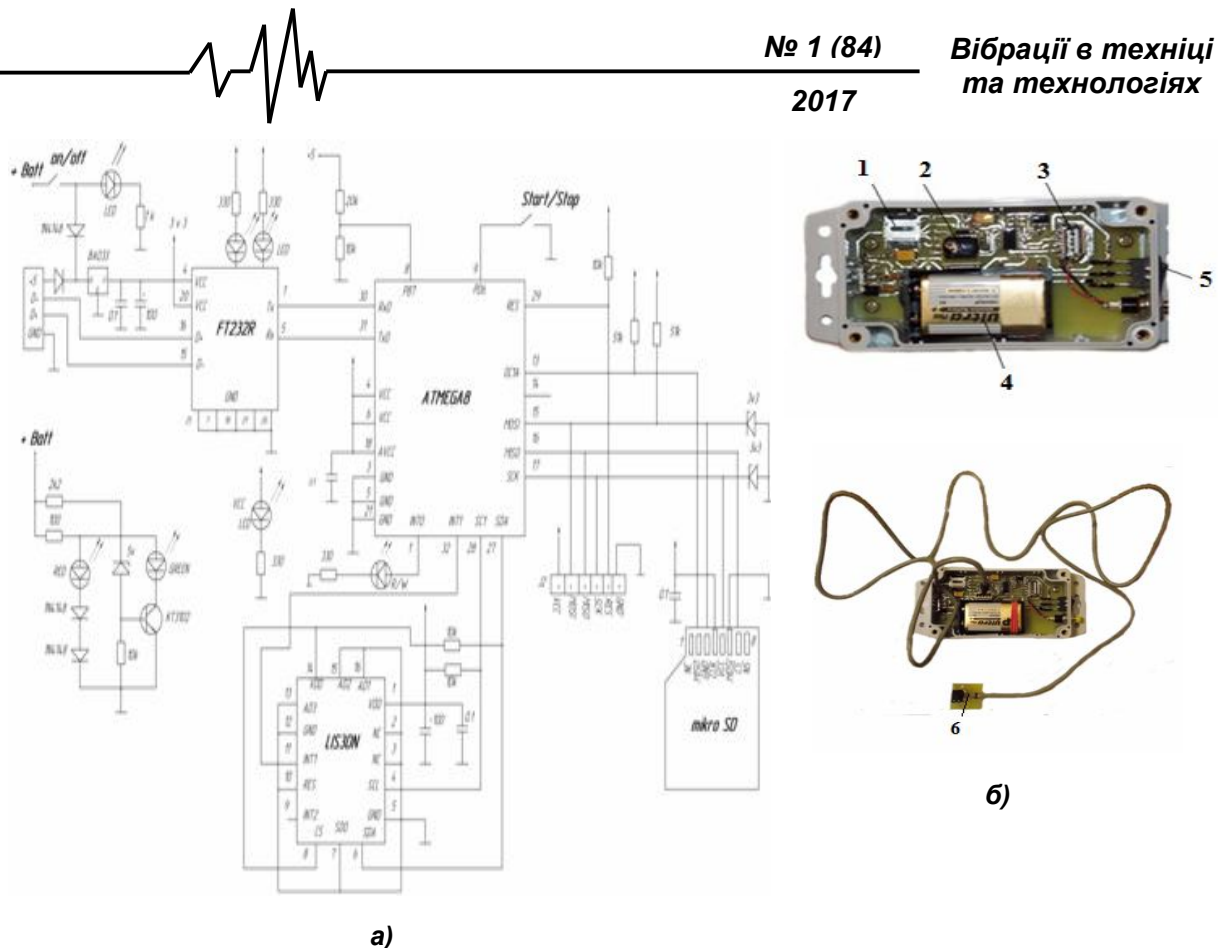


Рис. 3. Автономний акселерометр: а) електронна схема; б) конструктивна реалізація; 1 – карта пам'яті; 2 – мікроконтролер; 3 – адаптивний мікропорт для зчитування даних; 4 – акумулятор; 5 – вимикач; 6 – акселерометр

Для оцінки впливу технологічного завантаження на амплітудно-частотні, швидкісні та енергетичні характеристики розробленого обладнання було проведено серію експериментальних досліджень в залежності від зміни кутової частоти обертання приводного валу та завантаженні робочого контейнера на $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, від його повного об'єму.

Амплітудно-частотні характеристики розробленого гіраційного млина засвідчили (рис. 4 а), що загальна амплітуда коливань в резонансному режимі роботи машини становить: без технологічного наповнювача – 4 мм, при завантаженні робочої камери до $\frac{1}{2}$ – 3,2 мм, при завантаженні робочої камери до $\frac{3}{4}$ – 2,8 мм.

Варто відзначити, що величина амплітуди коливань розпочала зменшуватись: при завантаженні $\frac{1}{2}$ на 20%; при завантаженні $\frac{3}{4}$ на 30%. Це свідчить, з однієї сторони про значні інерційні характеристик наповнювача, а з іншої про його динамічний потенціал після виведення машини в експлуатаційний режим.

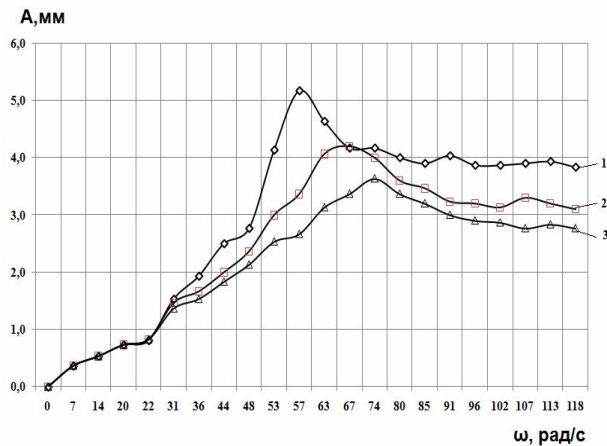
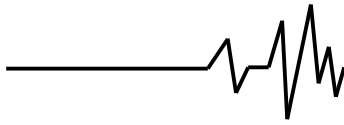
Максимальні значення віброшвидкості у робочих режимах машини становлять (рис. 4 б): без технологічного наповнювача – 0,45 м/с, при

завантаженні робочої камери до $\frac{1}{2}$ – 0,35 м/с, при завантаженні робочої камери до $\frac{3}{4}$ – 0,31 м/с.

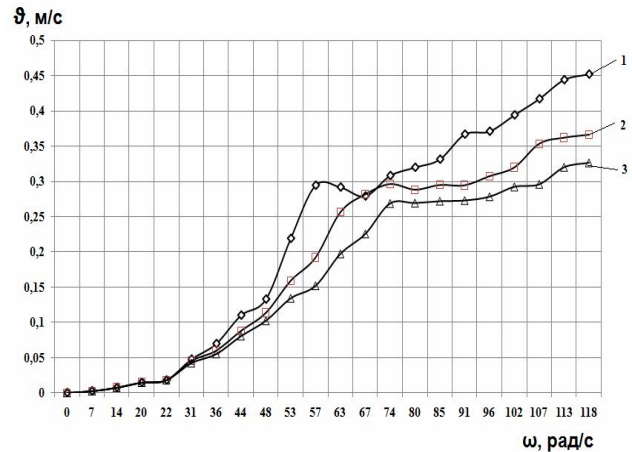
Інтенсивність коливань у робочому режимі – 115 рад/с збільшується зі зростанням віброшвидкості та віброприскорення (рис. 4 в, г). Варто відзначити, що із ростом інтенсивності даної обробки питомі витрати енергії зменшуються, особливо для продукції з низькою крихкістю, для продукції з високою крихкістю матеріалу питомі енерговитрати практично незмінні.

Конструкція досліджуваного гіраційного млина дозволяє плавне регулювання параметрів амплітуди коливань помольних камер в широких межах. Це досягається за рахунок зміни кута нахилу привідної платформи та величини ексцентриситету приводного валу. Дана конструктивна реалізація створює ефект просторового руху, тобто зміщення виконавчого органу машини відносно трьох координат.

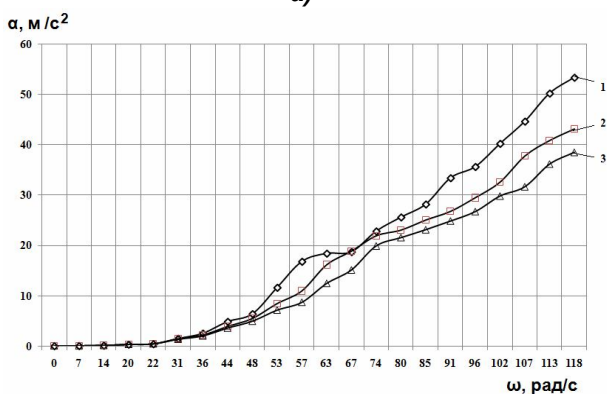
Для визначення впливу конструктивних параметрів гіраційного млина на основні кінематичних та енергетичних показників машини було проведено ряд експериментів з почергової зміни кута нахилу привідної платформи та величини ексцентриситету l .



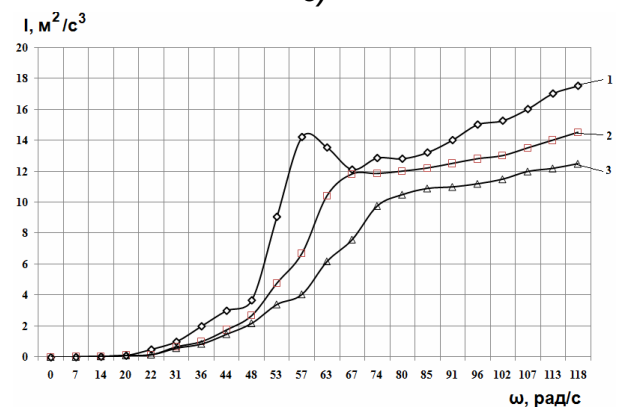
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Графічна інтерпретація амплітудно-частотних та швидкісних характеристик гіраційного млина: 1 – без завантаження; 2 – при завантаженні контейнера на $\frac{1}{2}$ від його повного об'єму; 3 – при завантаженні контейнера на $\frac{3}{4}$ від його повного об'єму

З даних залежностей видно, що криві, які характеризують загальну амплітуду коливань містять до резонансний, резонансний та зарезонансний період (рис. 5, 6). Зміна кута нахилу привідної платформи відбувалась в інтервалі від 3 до 15 градусів з кроком 3 градуси, зміна ексцентриситету – від 1 до 5 мм з кроком 1 мм. Як видно із графіків, збільшення кута нахилу θ платформи характеризує менший діапазон величин генерованої амплітуди, ніж зміна ексцентриситету l та є привілюючим у генерації загальної амплітуди коливань помольних камер, а як наслідок, інтенсивності обробки сипкої сировини.

Споживані енерговитрати розробленого гіраційного млина варто оцінювати на основі комплексного конструктивного та технічного аналізу досліджуваної коливної системи.

Результати експериментальних досліджень зміни споживаних енерговитрат в залежності від частоти обертання приводного валу та варіювання кута нахилу θ платформи та ексцентриситету l відображено на рис. 7, 8. Звідки можна зробити висновок, що значною

мірою на споживані енерговитрати впливає нахил привідної платформи, із кожним кроком в 3 градуси енерговитрати зростають на 65 Вт, при зміні ексцентриситету із кожним кроком – 30 Вт.

Аналіз варіювання вищезначених параметрів встановив, що оптимальні технологічні режими роботи вібромашини в енергетичному та технічному плані знаходять при $\theta = 3$ град, $l = 3$ мм та в залежності від ступеня завантаження технологічним наповнювачем, при кутовій частоті обертання привідного валу 120 рад/с, становлять (рис 9): при відсутності технологічного завантаження споживані енерговитрати становлять $N = 1,1$ кВт; при завантаженні $\frac{1}{2}$ від повного об'єму контейнера – $N = 1,25$ кВт; 3 – при завантаженні $\frac{3}{4}$ від повного об'єму контейнера – $N = 1,32$ кВт.

Також було проведено серію експериментальних досліджень (рис. 10), щодо встановлення продуктивності розробленої вібромашини в залежності від ступеня здрібнення вихідного матеріалу при подачі матеріалу 5,5 кг/хв.

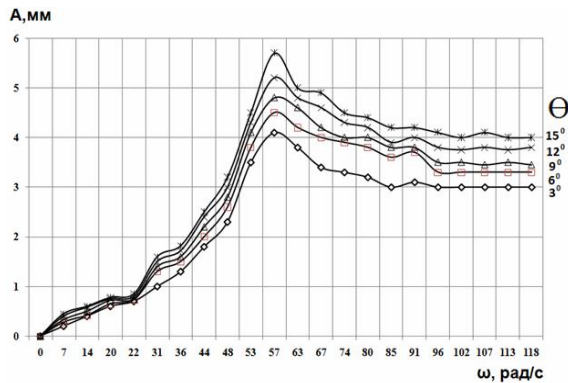
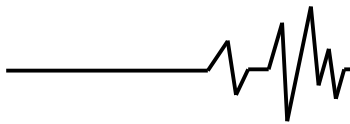


Рис. 5. Загальна амплітуда коливань контейнера залежно від кута нахилу платформи θ та кутової частоти обертання приводного валу

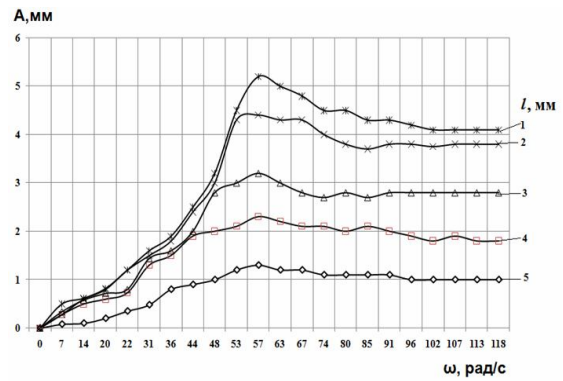


Рис. 6. Загальна амплітуда коливань контейнера залежно від зміни величини ексцентриситету l та кутової частоти обертання приводного валу

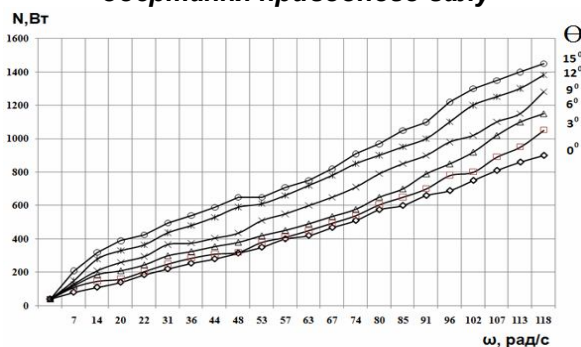


Рис. 7. Енергетична характеристика досліджуваного обладнання без технологічного наповнювача при $l=0$ залежно від кута нахилу платформи θ та кутової частоти обертання приводного валу

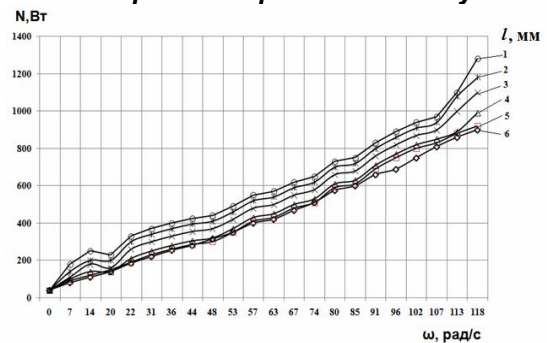


Рис. 8. Енергетична характеристика гіраційного млина: 1 – при відсутності технологічного завантаження; 2 – при завантаженні $\frac{1}{2}$ від повного об'єму контейнера; 3 – при завантаженні $\frac{3}{4}$ від повного об'єму контейнера

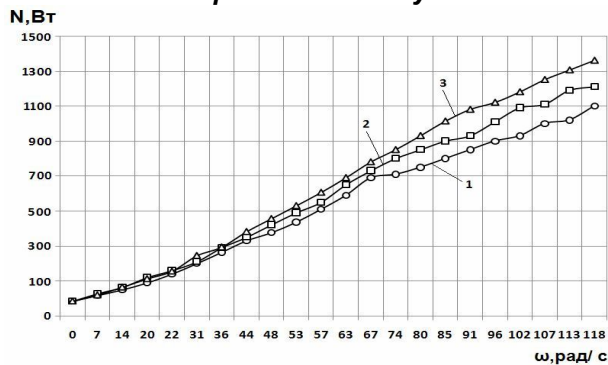


Рис. 9. Енергетична характеристика гіраційного млина: 1 – при відсутності технологічного завантаження; 2 – при завантаженні $\frac{1}{2}$ від повного об'єму контейнера; 3 – при завантаженні $\frac{3}{4}$ від повного об'єму контейнера

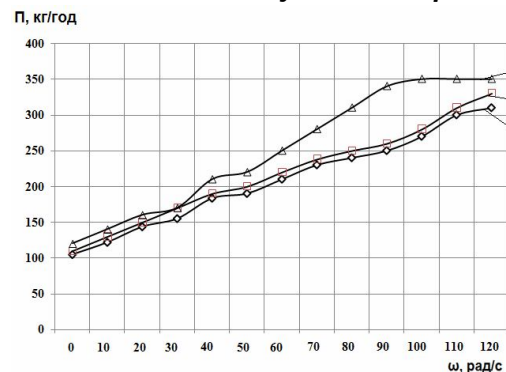
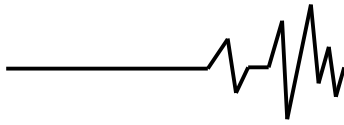


Рис. 10. Залежність продуктивності гіраційного млина від частоти обертання приводного валу та діаметру сит сепараційного відділу: 1 – $d=0,5$ мм; 2 – $d=1$ мм; 3 – $d=3$ мм

Аналіз рис. 10 засвідчив, що при встановлених конструктивних та технологічних параметрах продуктивність гіраційного млина становить: 350 кг/год при дисперсності вихідного матеріалу $4800 \text{ см}^2/\text{г}$; 325 кг/год при дисперсності – $5100 \text{ см}^2/\text{г}$; 310 кг/год – при дисперсності $5250 \text{ см}^2/\text{г}$.

Висновки. В результаті проведених експериментальних досліджень було отримано графічні залежності для амплітудно-частотних, швидкісних та енергетичних характеристик розробленого обладнання та встановлено його попередні режими роботи: частота обертання приводного валу $\omega=110\text{...}120$ рад/с; амплітуда



коливань $A = 2,8...3,2$ мм; віброшвидкість $u = 0,32...0,35$ м/с; віброприскорення в межах $a = 35...42$ м/с²; інтенсивність коливань $I = 12...14$ м²/с³. Аналіз конструктивних параметрів приводного механізму розробленого гіраційного млина засвідчив, що оптимальні значення кута нахилу гіраційної втулки θ та величини ексцентриситету l кінематичного валу становлять $\theta = 3$ та $l = 3$ мм відповідно. За даних режимних та конструктивних параметрів при заповненні помольних камер на 75 % технологічним наповнювачем, дисперсність вихідного матеріалу становить 4800 см²/г за продуктивності 350 кг/год та споживаних енерговитрат $N = 1,32$ кВт.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г. М. Енергоощадні технології кормів – основа конкурентоздатності тваринництва [Текст] : монографія / Г. М. Калетнік, М. Ф. Кулик, Л. Т. Глушко [та ін.]. – Вінниця : Теца, 2006. – 340 с.
2. Калетнік Г. М. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва [Текст] : навч. посіб. / Г. М. Калетнік, М. Ф. Кулик, В. Ф. Петриченко, В. Д. Хорішко. – Вінниця: Енозіс, 2007. – 584 с. – (Гриф МАП України).
3. Єгоров Б. В. Технологія виробництва преміксів [Текст] / Б. В. Єгоров, О. І. Шаповаленко, А. В. Макарянська. – Київ : ЦУЛ, 2007. – 288 с.
4. Янович В. П. Розробка вібраційного млина з гіраційним приводом для виробництва преміксів [Текст] / В. П. Янович, І. В. Соломко // Сучасні агротехнології: тенденції та інновації : матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конф. – 2015. – Т. 3. – С. 125–127.
5. Пат. 106885 Україна, МПК В 02 С 19/16. Гіраційний млин / Янович В. П.; заявник та патентовласник Янович Віталій Петрович. – № 201511144 заявл. 13.11.2015 ; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
6. Веселовська Н. Р. Розробка автономного реєстратора амплітудно-частотних характеристик обладнання зі складною траєкторією руху [Текст] / Н. Р. Веселовська, В. П. Янович, Л. П. Янович // Матеріали Всеукраїн. наук.-техн. конф. [«Актуальні проблеми харчової промисловості»]. – Тернопіль, 2013. – С. 89 – 90.

Список джерел в транслітерації

1. Kaletnik H. M. Enerhooshchadni tekhnologii kormiv – osnova konkurentozdatnosti tvarynnyctva [Tekst] : monografiia / H. M. Kaletnik, M. F. Kulyk, L. T. Hlushko [ta in.]. – Vinnytsia : Teza, 2006. – 340 s.
2. Kaletnik H. M. Osnovy perspektyvnykh tekhnologii vyrobnytstva produktsii tvarynnyctva [Tekst] : navch. posib. / H. M. Kaletnik, M. F. Kulyk, V. F. Petrychenko, V. D. Khorishko. – Vinnytsia: Enozis, 2007. – 584 s. – (Hryf MAP Ukrainy).

3. Yehorov B. V. Tekhnolohiia vyrobnytstva premiksiv [Tekst] / B. V. Yehorov, O. I. Shapovalenko, A. V. Makarynska. – Kyiv : TsUL, 2007. – 288 s.

4. Yanovych V. P. Rozrobka vibratsiinoho mlyna z hiratsiinym pryvodom dla vyrobnytstva premiksiv [Tekst] / V. P. Yanovych, I. V. Solomko // Sучasni ahrotekhnolohii: tendentsii ta innovatsii : materialy Vseukrain. nauk.-prakt. konf. – 2015. – Т. 3. – С. 125–127.

5. Pat. 106885 Ukraina, MPK B 02 S 19/16. Hiratsiinyi mlyn / Yanovych V. P. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Yanovych Vitalii Petrovych. – № 201511144 zaiavl. 13.11.2015 ; opubl. 10.05.2016, Biul. № 9.

6. Veselovska N. R. Rozrobka avtonomnoho reiestratora amplitudno-chastotnykh kharakterystyk obladnannia zi skladnoiu traiektoriiei rukhu [Tekst] / N. R. Veselovska, V. P. Yanovych, L. P. Yanovych // Materialy Vseukrain. nauk.-tekhn. konf. [«Aktualni problemy kharchovoi promyslovosti»]. – Ternopil, 2013. – С. 89 – 90.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОАКТИВНЫХ ПРЕМИКСОВ

Аннотация. Стаття посвящена експериментальним дослідженням основних амплітудно-частотних і енергетических параметрів опытной модели гирационной мельницы для реализации процесса сверхтонкого измельчения сыпучих ингредиентов при производстве комплексных премиксов. В результате было установлено рабочие параметры исследуемого оборудования при условии минимизации потребляемых энергозатрат на организацию данного технологического процесса.

Ключевые слова: експериментальное исследование, гирационная мельница, тонкодисперсный помол, режимные и конструктивные параметры, премиксы

THE RATIONALE OF OPERATING AND DESIGN PARAMETERS VIBRATION MILL FOR THE PRODUCTION OF HIGHLY PREMIXES

Annotation. The article is devoted to experimental research fundamental amplitude-frequency and power settings experimental model for implementation vibration mill for the realization of the superfine particulate ingredients in the manufacture of complex premixes process. As a result, working parameters of the equipment provided to minimize energy consumption for the organization of this process were found.

Key words: experimental study, vibration mill, fine grinding, operating and design parameters of the premixes.