

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

АЛЕКСЕЙЧУК МАКСИМ ПАВЛОВИЧ

УДК 631.362.3

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВОДІВ
СОРТУВАЛЬНИХ МАШИН**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____М.П. Алексейчук

Керівник роботи

Сукманюк О.М.

к.і.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Алексейчук Максим Павлович. Підвищення енергоефективності приводів сортувальних машин. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що у сортувальній машині з двома решітними станами, фази коливань яких зміщені один відносно одного на чверть періоду, знакозмінні інерційні потужності решітних станів взаємно нейтралізуються і відповідний потік знакозмінної потужності мережі живлення дорівнює нулю, що призводить до радикального зниження споживаної повної потужності та скорочення втрат.

Встановлено, що умовою самонейтралізації реактивної потужності в сортувальній машині з двома решітними станами, фази коливань яких зміщені одна щодо одної на чверть періоду, є рівність нулю сумарного механічного інертного реактансу машини, внаслідок чого машина не надає опору приводу, що повідомляє коливальні рухи решітних станів.

Встановлено, що застосування кінематичної схеми решітної сортувальної машини зі зсувом фаз коливань решітних станів відносно один одного на чверть періоду коливань дозволяє в 4,8 рази зменшити нерівномірність дисипативної потужності, що розсіюється в сипучому матеріалі.

Запропоновано технічне рішення щодо підтримки сталості інертних мас решітних станів в автоматичному режимі. Можливість зниження повної споживаної потужності при використанні кінематичної схеми сортувальної машини зі зміщенням фаз коливань решітних станів на $\pi/2$ підтверджено експериментально.

Ключові слова: сортувальна машина, решітний стан, коливання, енергоефективність

ANNOTATION

Alekseychuk Maxim Pavlovich. Improving the energy efficiency of sorting machine drives. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that in a sorting machine with two sieve states, the phases of oscillations of which are shifted relative to each other by a quarter of a period, alternating inertial powers of sieve states are mutually neutralized and the corresponding flux of alternating power supply is zero. and loss reduction.

It is established that the condition of self-neutralization of reactive power in a sorting machine with two sieve states, the phases of oscillations of which are shifted relative to each other by a quarter of a period, is zero zero total mechanical inert reactance of the machine.

It is established that the application of the kinematic scheme of the sieve sorting machine with the phase shift of the oscillations of the sieve states relative to each other for a quarter of the period of oscillations allows to reduce 4.8 times the non-uniformity of dissipative power dissipated in bulk material.

A technical solution for maintaining the stability of inert masses of sieve states in automatic mode is proposed. The possibility of reducing the total power consumption when using the kinematic scheme of the sorting machine with a shift of the phases of oscillations of the sieve states by $\pi / 2$ was confirmed experimentally.

Key words: sorting machine, sieve state, oscillations, energy efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ПЕРЕДУМОВИ КОНСТРУКТИВНИХ І МЕТОДОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Решетні сортувальні машини застосовуються у багатьох галузях виробництва – у сільському господарстві, будівництві, гірничій справі, заготівельному виробництві у машинобудуванні тощо.

У роботі досліджується динаміка решітних машин без їх приналежності до будь-якої галузі виробництва.

Основні дослідження щодо вдосконалення решітних сортувальних машин спрямовані на вивчення факторів, що впливають на технологічну ефективність процесу сепарування. Такими факторами є параметри сипкого матеріалу, габаритні розміри, форма та робочі розміри отворів решіт, кут нахилу решіт та підвісок станів, кінематичні параметри.

У більшості конструкцій застосовуваних сепараторів решітні стани здійснюють зворотно-поступальні рухи за допомогою ексцентрикового механізму, при цьому виникають змінні за величиною та напрямом сили інерції. Робота решітних станів сортувальних машин є характерним прикладом зовнішніх періодичних впливів приводу на потужні об'єкти. Реакція решітних станів як інертних тіл при поворотно-поступальних коливаннях проявляється у тому силовому впливі, на привід. Цей реактивний вплив зумовлений інерцією решітних станів. Розвивається значна механічна реактивна потужність, обумовлена масою решітних станів і сипучого матеріалу, що майже на порядок перевищує корисну потужність, що витрачається безпосередньо на процес сепарації, знижуючи його ефективність. Механічна реактивна потужність трансформується в реактивну електричну потужність, потоки якої в мережі живлення породжують суттєві теплові втрати у проводах. В результаті мають місце три несприятливі фактори:

- економічні втрати;

- погіршення якості електроенергії за рахунок виникнення паразитної гармоніки струму з частотою коливань решітних станів;
- екологічні збитки за рахунок розсіювання тепла в атмосферу.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю виключення зазначених факторів.

Незважаючи на велику кількість досліджень, спрямованих на визначення оптимальних значень технологічних і динамічних характеристик решітних сортувальних машин, означає, що отримані наукові результати не враховують наявність і наслідки реактивної механічної потужності, що розвивається приводом. Отже, розробка енергоефективного приводного пристрою є актуальним завданням у науковому та практичному плані.

Мета та завдання дослідження Мета роботи знизити споживану потужність при використанні кінематичної схеми сортувальної машини зі зміщенням фаз коливань решітних станів.

1. Провести аналіз процесу сортування та визначити напрямки зниження енергоефективності;
2. Розробити схему привода для підвищення енергоефективності приводів сортувальних машин та розробити методику досліджень;
3. Провести експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження – процес функціонування приводу сортувальних машин.

Предмет дослідження – залежність енергетичних затрат від режимів функціонування та конструктивних параметрів приводів сортувальних машин.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися в реальних умовах з урахуванням загальноприйнятих і приватних методик, розроблених автором. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Сукманюк О.М., **Алексейчук М.П.** Передумови створення біінертного осцилятора. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 29-30.

2. Ярош Я.Д., **Алексейчук М.П.** Вибір базового обладнання для проведення досліджень по підвищенню енергоефективності приводів сортувальних машин. *«Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України»*, присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. м. Київ. 2021. С. 213-215.

3. Сукманюк О.М., **Алексейчук М.П.** Основна проблема динаміки решітних сортувальних машин. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *«Техніка та технології в агропромисловому виробництві»* (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету) 07-08 жовтня 2021 року. Полтава. 2021. С. 158-160.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє розроблена схема привода сортувальних машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту, містить 17 рисунків та 5 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ПЕРЕДУМОВИ КОНСТРУКТИВНИХ І МЕТОДОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Основні варіанти передачі решетам коливальних рухів представлені на рис. 1.1.

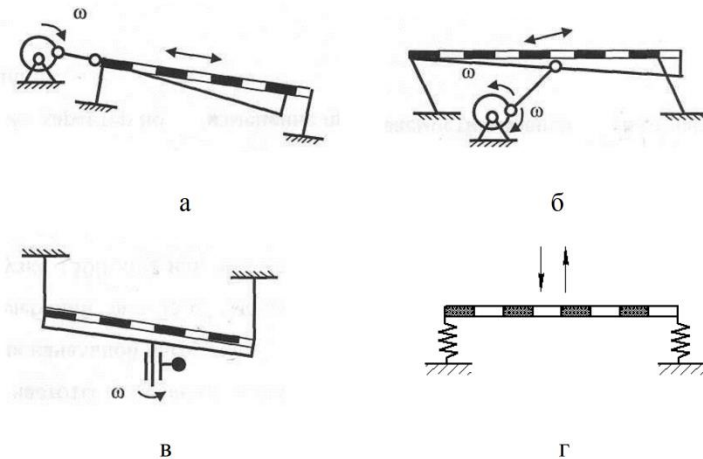


Рис. 1.1. Основні варіанти передачі решетам коливальних рухів: а – рух в площині решета; б – частковий рух по нормалі до площини; в – обертальний рух; г – рух по нормалі до площини з високою частотою.

В рамках проведеного нами дослідження розглядався варіант «а». Він характеризується наявністю кінематично жорсткого приводу, який забезпечує коливання решіт близьких до синусоїдальних з незмінною амплітудою. Для перетворення обертального руху електродвигуна в зворотньо-поступальний рух решіт, як правило, використовується ексцентриковий механізм. Безумовною перевагою цього приводу є простота.

Недоліком приводу є передача значних динамічних впливів на корпус машини. Для мінімізації цих впливів використовуються схеми з двома решітними станами, які здійснюють коливання в протифазах.

Із чималої різноманітності конструкцій, наведених в зазначених вище класифікаціях, в цьому дослідженні розглядаються решітні сепаратори з ексцентриковими приводними механізмами з прямолінійними майже гармонійними коливаннями решітних станів. Це найпоширеніший тип решітних

сепараторів. Наприклад, в сільському господарстві на їх частку припадає близько 80% від усіх типів решітних машин.

Перевагою цих машин є невисокі енерговитрати, а також фіксована амплітуда коливань решітних станів.

Їх недоліком є виникнення великих динамічних навантажень, що породжують вібрацію конструкцій машин.

Істотним недоліком решітних сепараторів з ексцентриковими приводними механізмами з прямолінійними коливаннями решітних станів є розвиток значної реактивної механічної потужності, домінуючою в складі повної механічної та, відповідно, споживаної електричної потужності.

Прагнення до мінімізації цього недоліку лежить в основі мети багатьох досліджень. Зворотно-поступальні рухи решітних станів сортувальної машини супроводжуються значними динамічними навантаженнями, що породжують шкідливі явища.

Протягом чверті періоду основної (першої) гармоніки коливань привід передає масивному решітному стану істотну кінетичну енергію. Протягом наступної чверті періоду решітний стан повертає приводу значну частину отриманої енергії. Розвиваються істотні реактивна і повна потужності.

Виникають сильні динамічні навантаження на корпус. Передача реактивної енергії по електричній мережі супроводжується значними тепловими втратами в проводах і обмотках трансформаторів і електромеханічних перетворювачів. Застосування схеми руху двох решітних станів в протилежних напрямках знімає динамічне навантаження на корпус сортувальної машини, але не вирішує проблему нейтралізації реактивних навантажень приводу решітного стану і мережі живлення – момент на валу приводу і споживана потужність залишаються знакозмінними.

При розрахунку динаміки сортувальних машин, в тому числі, енергообміну решітних станів з приводом і електричною мережею необхідно враховувати вплив сипучого матеріалу на інертність решітного стану.

В даний час задовільно вирішена задача динаміки відокремленої частки при коливаннях поверхні, на якій вона розташована. Однак не відомо вирішення питання для великої сукупності частинок про їхній внесок у інерцію системи «решітний стан - сипучий матеріал».

В силу сипучості матеріалу не вся його маса вносить вклад в сумарну інертність. В літературі згадується про необхідність обліку такого впливу, проте немає конкретних формул, що дозволяють розрахувати ефективну інертну масу матеріалу, яка очевидно менше маси всього матеріалу.

Іншими завданнями, безпосередньо пов'язаними з останніми і вищезазначеними завданнями, є визначення активної, реактивної і повної потужностей, що розвиває решітний стан в сукупності з сипучим матеріалом.

У механічній коливальній системі при збігу власної частоти коливань з частотою зовнішньої дії настає режим резонансу. Це обумовлено тим, що з такою частотою в системі можуть відбуватися вільні гармонічні коливання. При цьому масивний елемент обмінюється енергією з іншим накопичувачем енергії, наприклад, з пружиною, а не з джерелом зовнішнього впливу, що є основою нейтралізації реактивного впливу інертного елемента на привід.

Однак, системи, що включають інертні і пружні елементи, мають фіксовану власну частоту коливань, що робить зазначений метод компенсації реактивного впливу практично неприйнятним для сортувальних машин, оскільки маса решітного стану разом з сипучим матеріалом може істотно змінюватися в процесі роботи, що при незмінній пружності пружини призведе до суттєвої розбалансування коливальної системи, в результаті якої пружина стане грати роль додаткового навантаження на привід.

При механічних гармонійних коливаннях розвивається два види потужності: активна і реактивна.

Активна потужність:

$$N_{\text{акт}} = \frac{1}{2} F_a \dot{x} \sin\varphi \quad (1.1)$$

де F_a – амплітуда сили, x – переміщення, φ – фазовий зсув між синусоїдальною силою та переміщенням.

Реактивна потужність

$$N_{\text{реакт}} = \frac{1}{2} F_a \dot{x} \sin\varphi \quad (1.2)$$

Зазначений опис потужності в принципі правильний, однак, він має ряд недоліків.

1. Формули (1.1) та (1.2) не уніфіковані з відповідними формулами електротехніки, хоча ті з'явилися значно раніше. Так, активна потужність в електротехніці

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m \cos\varphi \quad (1.3)$$

Реактивна потужність, відповідно

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m \sin\varphi \quad (1.4)$$

Відмінність зумовлена тим, що в електротехніці як базова вісь використовується вісь абсцис, а в механіці – вісь ординат. Помилки в цьому немає, проте при одночасному описі і механічних і електричних, тобто. електромеханічних процесів і систем можуть виникнути значні незручності та різночитання.

2. В електротехніці реактивна потужність поділяється на два види – індуктивну та ємнісну. Ці потужності обумовлені різними фізичними обставинами і мають через це різні знаки та різні формули.

У механіці взаємний обмін енергією, що зумовлює розвиток реактивної потужності, властивий інертної та гравітаційної масі, а також пружності. У механіці реактивна потужність у зв'язку з цим не диференціюється, хоча відповідні потужності повинні істотно відрізнятися між собою.

3. На відміну від електротехніки в механіці не визначена повна потужність.

Оскільки найпоширенішим видом приводу є електричний, який здійснює трансформацію електричної енергії в механічну, без такого поняття як повна механічна потужність обійтися важко.

Вказані три обставини визначають постановку одного з завдань дослідження – скоригувати та деталізувати уявлення про види механічної потужності.

Механічний (пружинний) маятник та електричний коливальний контур описуються ізоморфними в математичному сенсі диференціальними рівняннями, а саме:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (1.5)$$

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0 \quad (1.6)$$

де

x - переміщення, м;

k – коефіцієнт пружності, Н/м;

m – маса, кг;

q – електричний заряд, Кл;

L – індуктивність, Гн;

C – Електрична ємність, Ф.

З виразів (1.3) і (1.4) випливає, що в кожному з цих осциляторів можуть виникати вільні гармонічні коливання з частотами, відповідно -

$$\omega_{km} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.7)$$

$$\omega_{LC} = \frac{1}{LC} \quad (1.8)$$

При цьому в механічному інертно-пружному (mk) осциляторі коливання обумовлені взаємним перетворенням кінетичної енергії вантажу в потенційну енергію пружини, а в електромагнітному індуктивно-ємнісному (LC) осциляторі – взаємним перетворенням енергії магнітного поля котушки.

Наприкінці другого тисячоліття були створені осцилятори змішаної фізичної природи - інертно-індуктивний (mL), пружно-ємнісний (kC), інертно-ємнісний (mC), пружно-індуктивний (kL) та ряд інших.

Інертно-індуктивний (mL) осцилятор зображено на рис. 1.2.

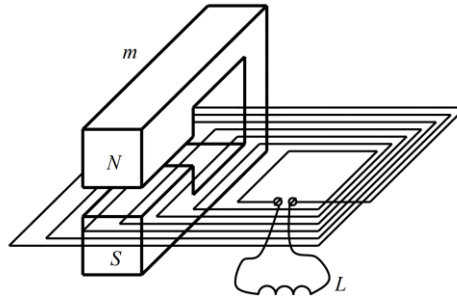


Рис. 1.2. Інертно-індуктивний (mL) осцилятор.

Інертно-індуктивний (mL) осцилятор описується класичними диференціальними рівняннями гармонійних коливань:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{y}{mL}x = 0 \quad (1.9)$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{mL}i = 0 \quad (1.10)$$

$$y = (Bl n)^2 \quad (1.11)$$

де i - електричний струм, А;

y – параметричний коефіцієнт;

B – магнітна індукція, Тл;

l – довжина активної частини віту обмотки, м; n – кількість витків обмотки.

З виразів (1.9), (1.10) випливає, що в інертно-індуктивному (mL) осциляторі можуть виникати вільні гармонічні коливання з частотою:

$$\omega_{mL} = \sqrt{\frac{y}{mL}} \quad (1.12)$$

При цьому в інертно-індуктивному (mL) осциляторі коливання обумовлені взаємним перетворенням кінетичної енергії вантажу на енергію магнітного поля котушки індуктивності.

Пружно-ємнісний (kC) осцилятор зображений на рис.1.3.

Пружно-ємнісний (kC) осцилятор описується класичними диференціальними рівняннями гармонійних коливань

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{mC}x = 0 \quad (1.13)$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{yC}i = 0 \quad (1.14)$$

З виразів (1.13), (1.14) випливає, що в пружно-ємнісному (kC) осциляторі можуть виникати вільні гармонічні коливання з частотою

$$\omega_{kC} = \sqrt{\frac{k}{yC}} \quad (1.15)$$

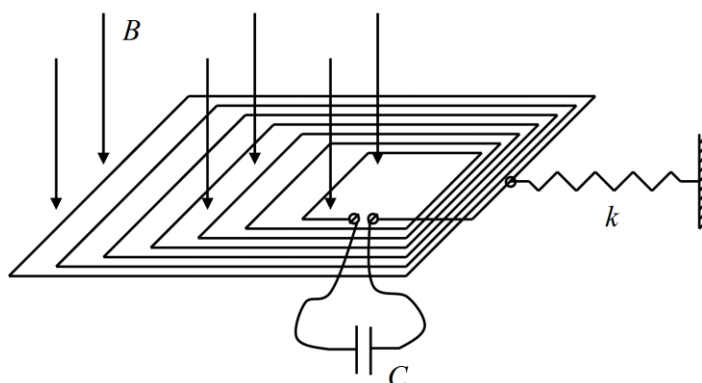


Рис. 1.3. Пружно-ємнісний (kC) осцилятор

При цьому в пружно-ємнісному (kC) осциляторі коливання обумовлені взаємним перетворенням потенційної енергії пружини в енергію електричного поля конденсатора.

До складу інертно-ємнісного (mC) осцилятора входить конденсатор ємністю C та п'єзoeлектричний перетворювач з інертним навантаженням масою m (рис. 1.4).

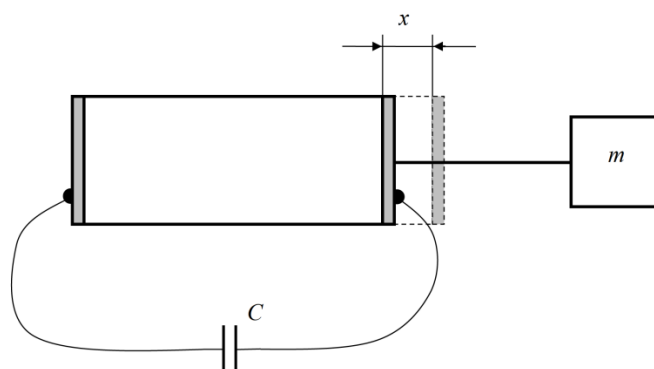


Рис. 1.4. Інертно-ємнісний (mC) осцилятор.

Інертно-ємнісний (mC) осцилятор описується класичними диференціальними рівняннями гармонічних коливань.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{z}{mC}x = 0 \quad (1.16)$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{z}{mC}i = 0 \quad (1.17)$$

$$y = d_1 d_2 \quad (1.18)$$

де z – параметричний коефіцієнт;

d_1 – п'єзомодуль прямого п'єзоефекту, Кл/м;

d_2 – п'єзомодуль зворотного п'єзоефекту, Н/В.

З виразів (1.16), (1.17) випливає, що в інертно-ємнішому (mC) осциляторі можуть виникати вільні гармонічні коливання з частотою:

$$\omega_{mC} = \sqrt{\frac{z}{mC}} \quad (1.19)$$

При цьому в інертно-ємнішому (mC) осциляторі коливання обумовлені взаємним перетворенням кінетичної енергії вантажу на енергію електричного поля конденсатора.

Пружно-індуктивний (kL) осцилятор зображено рис. 1.5.

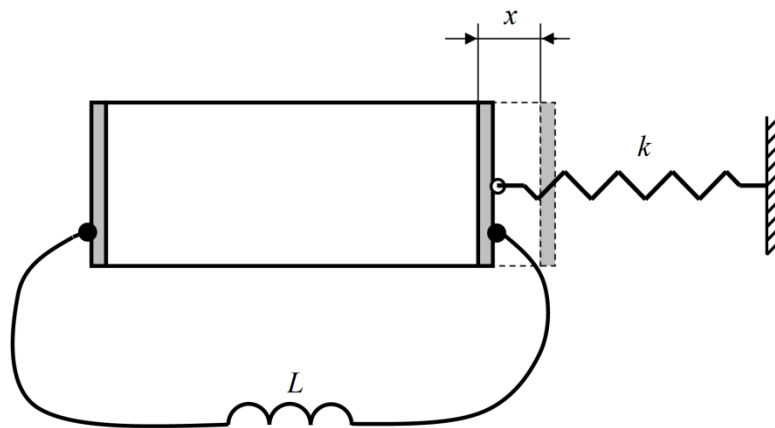


Рис. 1.5. Пружно-індуктивний (kL)

Формули показують, що вільні гармонічні коливання можуть зумовлюватися найрізноманітнішими варіантами енергообміну. У цьому стосовно теми цього дослідження виникає природна постановка питання можливості створення біінертного (mm) осцилятора, реактивними елементами якого були б потужні решітні стани сортувальної машини.

Висновки по розділу

Біінертний (mt) осцилятор із власною частотою коливань є найближчим аналогом технічних рішень, що розробляються в цьому дослідженні. У той же час, його безпосереднє використання у сортувальних машинах є безперспективним через невиправдану складність конструкції та наявність фіксованої частоти коливань, що суттєво обмежує технологічні можливості.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження мають дві мети.

Перша – підтвердити практичну можливість зниження повної споживаної потужності під час використання кінематичної схеми сортувальної машини зі зміщенням фаз коливань решітних станів на $\pi/2$.

Друга - встановити значущість факторів, що спотворюють розрахункову математичну модель, вплив яких теоретично не досліджувався.

Для досягнення зазначених цілей вирішувалися такі завдання.

1. Визначення та оснащення матеріальної бази досліджень.
2. Переналаштування фазності коливань решітних станів.
3. Вимірювання повної та активної потужностей при штатній фазності коливань решітних станів (коли вони здійснюють синфазні коливання) та при зміщенні фаз коливань на $\pi/2$.

Програма експериментальних досліджень включає п'ять пунктів.

1. Вибір базового обладнання для проведення експериментальних досліджень.
2. Реконструкція обраного обладнання відповідно до завдань експериментальних досліджень.
3. Монтаж випробувального комплексу.
4. Виконання експериментальних досліджень та відповідних вимірювань.
5. Обробка та аналіз експериментальних даних.

Для мінімізації впливу випадкових факторів вимір проводяться п'ятиразово. Для мінімізації систематичної похибки експерименти рандомізуються з допомогою генератора випадкових чисел.

Обчислюється середнє значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = 0,2 \sum_{i=1}^5 x_i, \quad (2.1)$$

Обчислюється дисперсія:

$$\sigma^2 = 0,25 \sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.2)$$

Обчислюється середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = 0,5 \sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.3)$$

Обчислюється середньоквадратичне відхилення середнього:

$$\sigma_{ix} = \frac{\sigma}{\sqrt{5}}, \quad (2.4)$$

Обчислюється найбільша статистична помилка:

$$\Delta x = t_{A5} \cdot \sigma_{ix}, \quad (2.5)$$

де t_{A5} - коефіцієнт Стюдента, A – прийнята надійність для п'яти вимірів.

Приймається відносно висока надійність $A = 0,95$, для якої при п'яти вимірах $t_{A5} = 2,8$.

Встановлюються межі довірчого інтервалу:

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x, \quad (2.6)$$

Результат вимірів, що виходить за межі довірчого інтервалу, не враховується.

Основними критеріями при виборі обладнання є наступні.

1. Проведення експериментальних досліджень на реальній сортувальній машині краще, ніж на макеті.

2. Ресурсні та трудові витрати при розвороті ексцентриків повинні бути мінімальними.

3. При розвороті ексцентриків динамічні навантаження на корпус машини не повинні зростати, що може бути досягнуто при наявності чотирьох решітних станів.

Відповідно до зазначених критеріїв для проведення експериментальних досліджень була обрана сортувальна машина ОЗС-50 (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Сортувальна машина ОЗС-50

Два ексцентрикових валу пов'язані ланцюговою передачею

Оцінка механічних дисипативної і повної потужностей проводили шляхом вимірювання активної потужності, сили струму і напруги в трьохжильному ланцюгу живлення асинхронного двигуна привода решітних станів сортувальної машини ОЗС-50.

Виміри проводилися наступними приладами: комплектом вимірювальним К505 (рис. 2), кліщами електровимірювальними АРРА 39МР (рис. 3) і приладом ВШВ-003-М2.

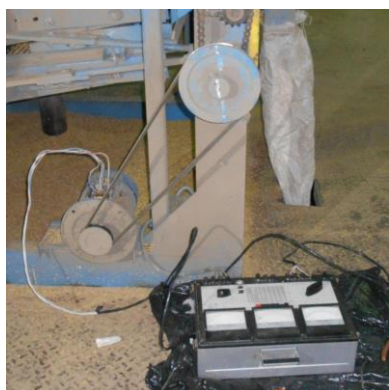


Рис. 2.2. Комплект вимірювальний
К505

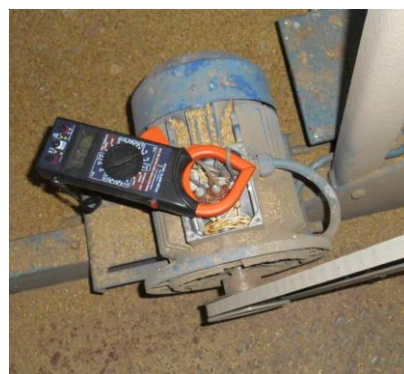


Рис. 2.3. Кліщі електровимірювальні

Вбудовані в комплект вимірювальний К505 прилади по точності відповідають класу 0,5 згідно з ДСТУ.

Межа основної похибки приладів комплекту вимірювального К505 при вимірюванні струмів до 10 А включно (без окремого трансформатора струму),

напруг від 75 до 600 В і потужностей, відповідних зазначеним величинам струмів і напруг, безпосередньо після включення і в режимі тривалого навантаження, дорівнює $\pm 0,5\%$ від кінцевого значення діапазону вимірювань.

Час встановлення показань приладів комплексу не більше 4 с.

При вимірюванні перемикач номінальних струмів встановлюється в положення «10 А», перемикач номінальних напруг в положення «600 В» і «+».

Дисипативна потужність визначається шляхом прямих вимірювань за допомогою ватметра.

Повна потужність визначається опосередковано – шляхом вимірювань струму і напруги і перемноження їх значень.

Перевагою сортувальної машини ОЗС-50 є те, що при її використанні для проведення експериментальних досліджень немає необхідності в трудомісткому виготовленні ексцентрикових валів зі зміщенням ексцентриків на $\pi/2$. Її кінематична схема (рис. 4) дозволяє, не змінюючи конструкцію ексцентрикових валів 3, забезпечити зміщення фази коливань будь-якої пари решетних станів 1 на $\pi/2$ за рахунок відносного розвороту ексцентрикових валів 3 на $\pi/2$. Це виконується при розмиканні ланцюгової передачі 4. При цьому обидва решітних стани верхньої пари і обидва решітних стани нижньої пари продовжують працювати в протифазі, що забезпечує динамічну врівноваженість машини.

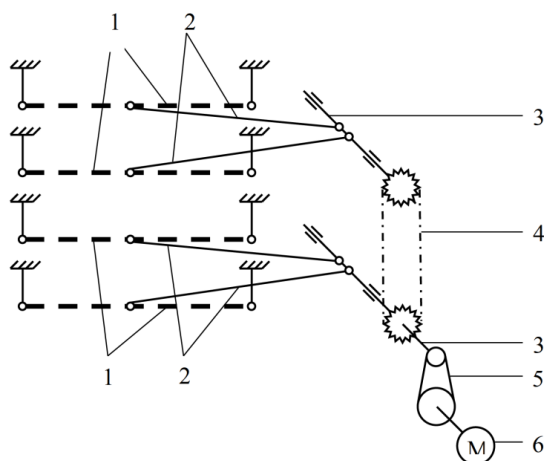


Рис. 2.4. Кінематична схема приводу решітних станів ОЗС-50: 1 – решітні стани; 2 – шатуни; 3 – ексцентрикові валви; 4 – ланцюгова передача; 5 – клинопасова передача; 6 – електродвигун.

Комплект вимірювальний К505 і кліщі електровимірювальні підключається до ланцюга живлення електродвигуна.

Потужність, що умовно підводиться до половини решітного стану, дорівнює:

$$P_{0,5} = \frac{1}{2} \frac{1}{\eta_{\text{п}}} P, \quad (2.7)$$

де $\eta_{\text{п}}$ – К.К.Д. пари підшипників кочення,

P – потужність, що витрачається на сепарацію на одному решітному стані.

Потужність, що підводиться до одного решітного стану, дорівнює:

$$P_1 = 2 \frac{1}{\eta_{\text{п}}} P_{0,5} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}^2} P. \quad (2.8)$$

Потужність, що підводиться до нижньої пари решітних станів, дорівнює:

$$P_{2\text{Н}} = 2 \frac{1}{\eta_{\text{п}}} P_1 = \frac{1}{\eta_{\text{п}}^3} P. \quad (2.9)$$

Потужність, що підводиться до верхньої пари решітних станів, дорівнює:

$$P_{2\text{В}} = 2 \frac{1}{\eta_{\text{ц}}} P_{2\text{Н}}, \quad (2.10)$$

де $\eta_{\text{ц}}$ – К.К.Д. цепної передачі.

Активна потужність, що споживається з мережі, дорівнює:

$$P_{\text{с}} = \frac{1}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{р}}} (P_{2\text{В}} + P_{2\text{Н}}) = \frac{1}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{р}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{ц}}} P_{2\text{Н}} + P_{2\text{Н}} \right) = \frac{2P}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{п}}^4 \cdot \eta_{\text{р}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{ц}}} + 1 \right), \quad (2.11)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ – К.К.Д. електродвигуна,

$\eta_{\text{р}}$ – К.К.Д. клинопасової передачі.

$$\eta_{\text{дв}} = 0,84; \eta_{\text{п}} = 0,99; \eta_{\text{р}} = 0,95; \eta_{\text{ц}} = 0,95.$$

Реактивна потужність лінійних коливань при штатній фазності коливань дорівнює:

$$Q_{\text{лін}} = 4 \frac{l^2 (m + k_y m_z) \omega^3}{2} = 4 \frac{(7,5)^2 10^{-6} (80 + 0,3 \cdot 40) 2^3 \pi^3 8^3}{2} \approx 1314 \text{ Вт}. \quad (2.12)$$

Повна потужність лінійних коливань при штатній фазності коливань дорівнює:

$$N_{\text{лін}} = \sqrt{P_{\text{лін}}^2 + Q_{\text{лін}}^2} = \sqrt{162^2 + 1314^2} \approx 1324 \quad (2.13)$$

Повна розрахункова потужність лінійних коливань при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ дорівнює:

$$N_{\text{лін}(\pi/2)} = P_{\text{лін}} = 162 \text{ Вт.} \quad (2.14)$$

Зниження повної розрахункової потужності лінійних коливань при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ становить:

$$N_{\text{лін}(0)} - N_{\text{лін}(\pi/2)} = 1324 - 162 = 1162 \text{ Вт.} \quad (2.15)$$

Розрахункове відносне зниження повної електричної потужності при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ дорівнює:

$$\delta = \frac{N_{\text{лін}(0)} - N_{\text{лін}(\pi/2)}}{N_{\text{лін}(0)}} 100\% = \frac{1162}{1324} 100\% \approx 88\%. \quad (2.16)$$

З цією метою за допомогою приладу ВШВ-003-М2 на вертикальних та горизонтальних стрижнях рами сортувальної машини ОЗС-50 проводилися вимірювання вібропереміщень у штатному режимі та при зміщенні фаз коливань решітних станів на $\pi/2$. Вимірювання проводилися у п'яти точках кожного стрижня, що дозволило побудувати достовірні віброхарактеристики стрижнів.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено методи, методики та обладнання для проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначаємо розрахункову активну потужність, що споживається з мережі за формулою:

$$P_c = \frac{2P}{\eta_{дв} \cdot \eta_{п}^4 \cdot \eta_{р}} \left(\frac{1}{\eta_{ц}} + 1 \right) = \frac{2 \cdot 40}{0,84 \cdot 0,99^4 \cdot 0,95} \left(\frac{1}{0,95} + 1 \right) \approx 214 \text{ Вт.} \quad (3.1)$$

Виміряна активна потужність склала 278 Вт при штатній фазності коливань (верхня та нижня пари решітних станів здійснюють синфазні коливання) та 246 Вт при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$.

Розбіжність склала:

$$\delta = \frac{246-214}{246} 100\% = 13\%. \quad (3.2)$$

Активна потужність лінійних коливань дорівнює:

$$P_{\text{лін}} = \frac{4P}{\eta_{р}} = \frac{4 \cdot 40}{0,99} \approx 162 \text{ Вт.} \quad (3.3)$$

Вимірне значення повної електричної потужності при штатній фазності коливань складає:

$$N_0 = 3I_0 U_0 = 3 \cdot 2,29 \cdot 204 = 1401 \text{ Вт.} \quad (3.4)$$

Вимірне значення повної електричної потужності при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ складає:

$$N_{\pi/2} = 3I_{\pi/2} U_{\pi/2} = 3 \cdot 0,61 \cdot 205 = 375 \text{ Вт.} \quad (3.5)$$

Вимірне зниження повної електричної потужності при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ становить:

$$N_0 - N_{\pi/2} = 1401 - 375 = 1026 \text{ Вт.}$$

Відносне зниження повної вимірної електричної потужності при відносному розвороті ексцентрикових валів на $\pi/2$ дорівнює:

$$\delta = \frac{N_0 - N_{\pi/2}}{N_0} 100\% = \frac{1026}{1401} 100\% \approx 73\%$$

Таким чином, при відносному розвороті приводних валів сортувальної машини ОЗС-50 на $\pi/2$ решітні стани обмінюються кінетичною енергією між

собою, а не з мережею живлення і масами, що обертаються, що нейтралізує реактивну потужність і дозволяє знизити повну споживану потужність на 73%.

Залежність горизонтального вібропереміщення λ_x вертикального стрижня рами від відстані точки виміру h_i при висоті стрижня H представлена рисунку 3.1.

На рисунку 3.2 представлена залежність вертикального вібропереміщення λ_y горизонтального стрижня рами від відстані точки виміру l_i при довжині стрижня L .

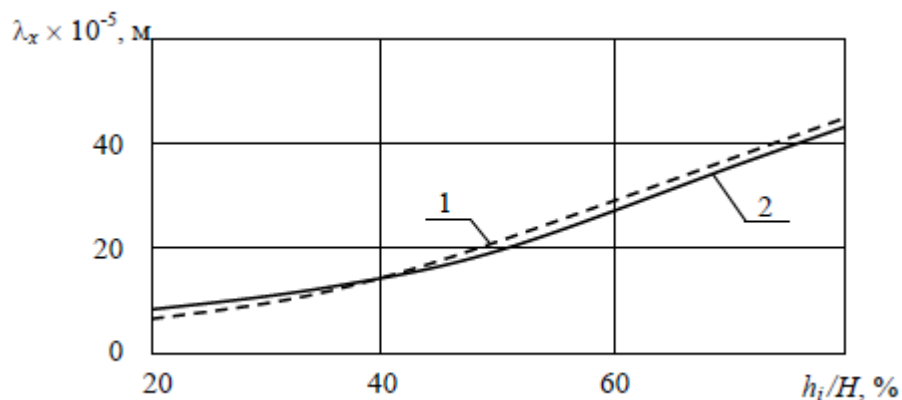


Рис. 3.1. Залежність горизонтального вібропереміщення вертикального стрижня рами від відстані точки вимірювання: 1 – у штатному режимі, 2 – при зміщенні фаз коливань решітних станів на $\pi/2$.

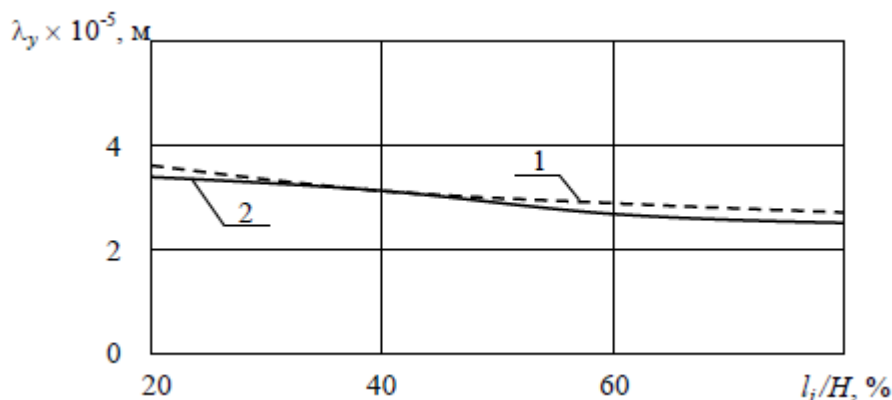


Рис. 3.2. Залежність вертикального вібропереміщення горизонтального стрижня рами від відстані точки виміру: 1 – у штатному режимі, 2 – при зміщенні фаз коливань решітних станів на $\pi/2$.

Експериментально отримані залежності свідчать, що віброхарактеристики для штатного режиму і при зміщенні фаз коливань решітних станів на $\pi/2$ практично збігаються – відмінності лежать у межах похибки вимірювань.

З цього випливає, що для сортувальної машини ОЗС-50 зміна кінематичної схеми, що дозволяє решітним станам обмінюватися кінетичною енергією між собою, а не їх приводом, не погіршує віброхарактеристики машини.

Розрахункова залежність дисипативної потужності від кута нахилу решіт для одного решітного стану визначається виразом:

$$P = 2nA_n = 4nk(1 - k_v)m_z l g \cos \alpha. \quad (3.6)$$

Виміряні значення одного решітного стану сортувальної машини ОЗС-50 зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність дисипативної потужності від кута нахилу решіт для одного решітного стану.

α , град	0	3	6	9	12	15
P, Вт	39,514	39,515	39,420	39,257	38,920	38,310

Графік залежності дисипативної потужності від кута нахилу решіт для одного решітного стану представлений на рис. 3.3.

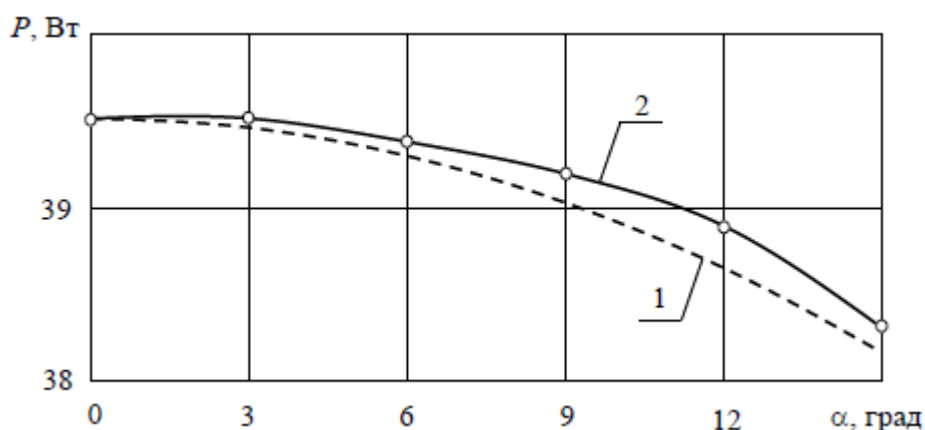


Рис. 3.3. Залежність дисипативної потужності, що розсіюється в сипучому матеріалі від кута нахилу решіт: 1 – розрахункова, 2 – експериментальна.

Розрахункова залежність реактивної інерційної потужності сипкого матеріалу від кута нахилу решіт для одного решітного стану визначається виразом:

$$Q_a = \frac{1}{2} m_z l^2 w^3 [(1 - k_v) t g^2 \alpha + k_v] \quad (3.7)$$

Вимірні значення зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність реактивної інерційної потужності сипкого матеріалу від кута нахилу решіт для одного решітного стану.

α , град	0	3	6	9	12	15
Q , Вт	42,863	42,858	43,748	45,662	46,862	49,524

Графік залежності реактивної інерційної потужності сипучого матеріалу від кута нахилу решіт для одного решітного стану представлений на рисунку 3.4.

Експериментально отримані дані свідчать про те, що залежності дисипативної та реактивної інерційної потужностей від кута нахилу решіт практично збігаються з розрахунковими – відмінності лежать у межах похибки вимірювань.

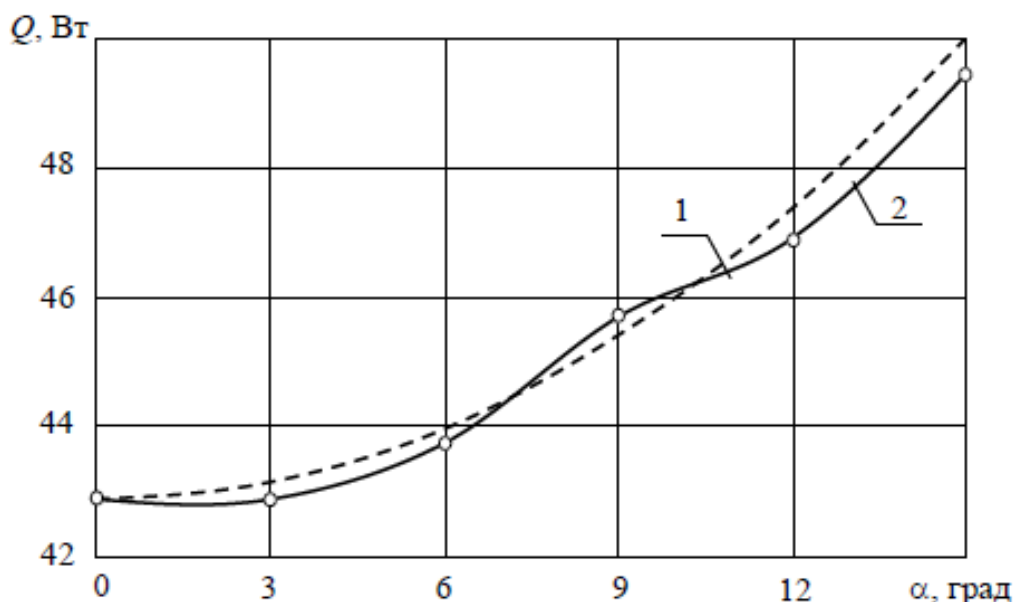


Рис. 3.4. Залежність реактивної інерційної потужності сипкого матеріалу від кута нахилу решіт: 1 – розрахункова, 2 – експериментальна.

Розрахункова залежність дисипативної потужності від маси сипкого матеріалу для одного решітного стану визначається виразом:

$$P_s = 2nA_n = 4nk(1-k_v)m_s g l, \quad (3.8)$$

Вимірні значення зведено в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Залежність дисипативної потужності від маси сипкого матеріалу для одного решітного стану.

m_z , кг	0	10	20	30	40	50
P , Вт	0	11,627	23,007	29,031	37,914	46,042

Графік залежності дисипативної потужності від маси сипучого матеріалу для одного решітного стану представлений на рис. 3.5.

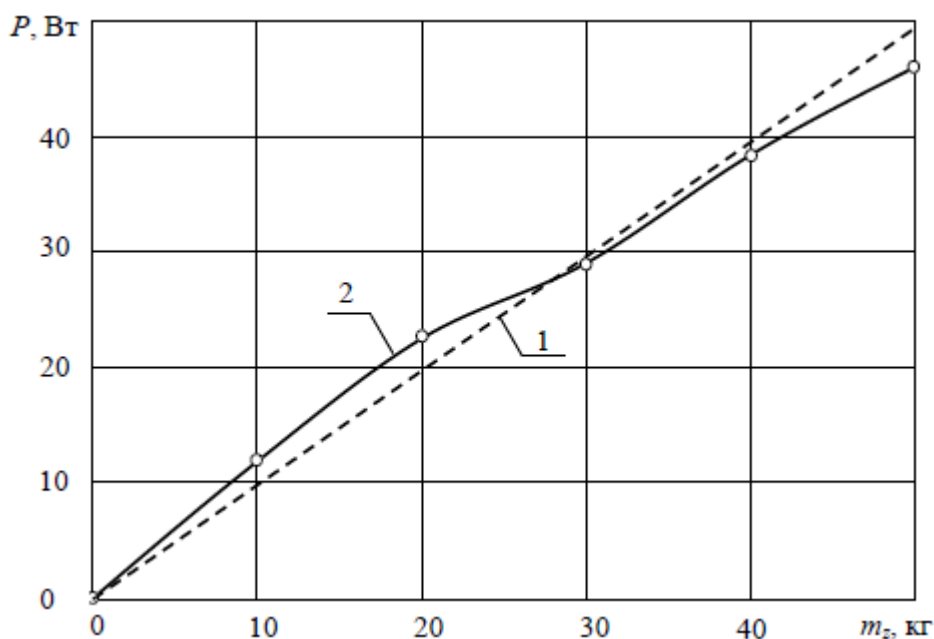


Рис. 3.5 – Залежність дисипативної потужності від маси сипкого матеріалу для одного решітного стану: 1 – розрахункова, 2 – експериментальна.

Розрахункова залежність реактивної інерційної потужності від маси сипкого матеріалу одного решітного стану визначається виразом:

$$Q = \frac{l^2(m+k_v m_z)w^3}{2}, \quad (3.9)$$

Вимірні значення зведено в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Залежність реактивної інерційної потужності від маси сипкого матеріалу для одного решітного стану.

m_z , кг	0	10	20	30	40	50
Q , Вт	285,754	286,014	286,185	305,901	306,617	319,331

Графік залежності реактивної інерційної потужності від маси сипкого матеріалу одного решітного стану представлений рис. 3.6.

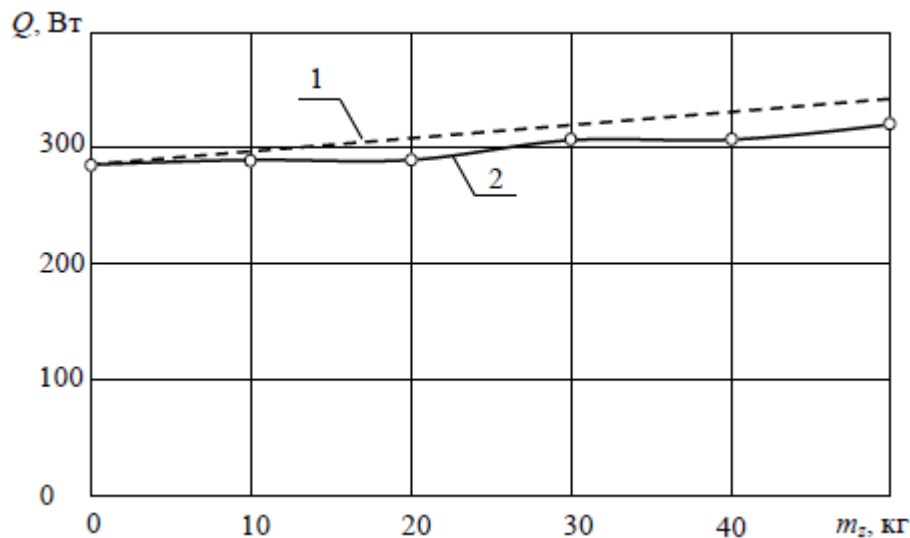


Рис. 3.6. Залежність реактивної інерційної потужності від маси сипкого матеріалу: 1 – розрахункова, 2 – експериментальна.

Експериментально отримані дані свідчать, що залежності дисипативної і реактивної інерційної потужностей від маси сипкого матеріалу практично збігаються з розрахунковими – відмінності лежать у межах похибки вимірювань.

Для серії вимірювань (і відповідних обчислень) встановлені такі дані:

- $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$ (робочий режим) ($n = \omega/2\pi$), $\varphi_a(n_w) = 0,320$;
- $n_1 = 3 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_a(n_1) = 0,822$;
- $n_2 = 5 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_a(n_2) = 0,579$;
- $n_3 = 12 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_a(n_3) = 0,122$.

Система рівнянь для цих даних має вид:

$$\begin{cases} 0,822 = 0,320 + \varphi'_\alpha(8)(3-8) + \frac{\varphi''_\alpha(8)}{2!}(3-8)^2 + \frac{\varphi'''_\alpha(8)}{3!}(3-8)^3 \\ 0,579 = 0,320 + \varphi'_\alpha(8)(5-8) + \frac{\varphi''_\alpha(8)}{2!}(5-8)^2 + \frac{\varphi'''_\alpha(8)}{3!}(5-8)^3 \\ 0,122 = 0,320 + \varphi'_\alpha(8)(12-8) + \frac{\varphi''_\alpha(8)}{2!}(12-8)^2 + \frac{\varphi'''_\alpha(8)}{3!}(12-8)^3 \end{cases} \quad (3.10)$$

Рішення системи:

$$\varphi'_\alpha(8) = -6,825 \cdot 10^{-2},$$

$$\frac{\varphi''_\alpha(8)}{2!} = 5,456 \cdot 10^{-3},$$

$$\frac{\varphi'''_\alpha(8)}{3!} = -1,977 \cdot 10^{-4}.$$

Таким чином, функція нерухомості сипучого матеріалу щодо решіт має вигляд:

$$\varphi_\alpha(n) = 0,320 - 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) + 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 - 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

Функція рухомості відповідно:

$$\varphi_\alpha(n) = 0,680 - 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) + 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 - 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

За відомими граничними значеннями функцій стану (0 і 1) визначаються граничні значення змінної стану:

$$\begin{aligned} n_a &= 1,8 \text{ с}^{-1}, \\ n_z &= 17,2 \text{ с}^{-1}. \end{aligned}$$

На рисунку 3.7 зображено функції стану (рухомості та нерухомості) сипучого матеріалу.

Стан сипучого матеріалу на робочій частоті $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$ визначається суперпозицією його граничних станів.

$$\xi = \varphi_a(n_w)\xi_a + \varphi_z(n_w)\xi_z = 0,32\xi_a + 0,68\xi_z. \quad (3.11)$$

Для визначення інерційних та дисипативних навантажень привода решітних станів суперпозиція граничних станів може бути поширена на масу сипучого матеріалу m . І тому останній вираз слід розділити на $|\xi|$ та помножити на m .

$$m = \varphi_a(n_w)m + \varphi_z(n_w)m = 0,32m + 0,68m. \quad (3.12)$$

Це можна умовно інтерпретувати таким чином, що частина сипучого матеріалу масою $0,32m$ робить коливання разом з решітними станами, вносячи внесок в інерційне навантаження, а частина матеріалу масою $0,68m$ за рахунок рухливості щодо решітних станів створює силу тертя і відповідне дисипативне навантаження.

Виміряні значення цільової функції $w(\zeta)$ (енергії, що споживається з мережі) для дискретних (з кроком дискретності 18 град.) значень елементів ζ допустимої множини Z (множина зрушень фаз коливань решітних станів $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$) приведені в таблиці 3.5.

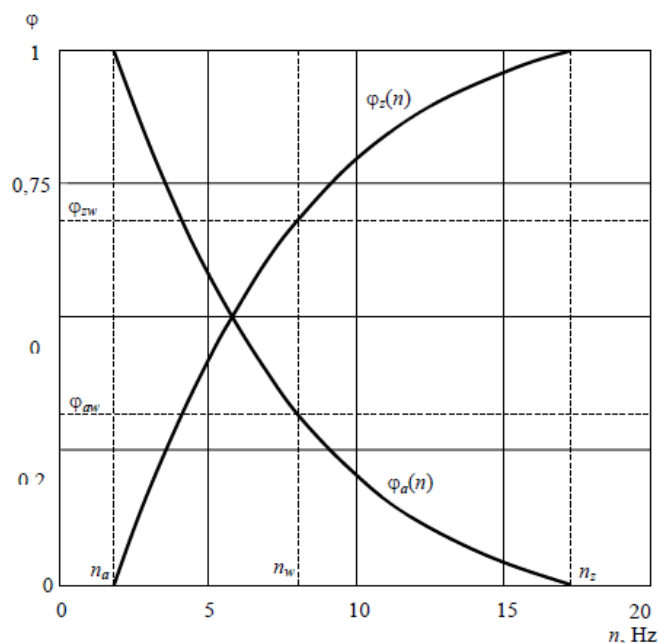
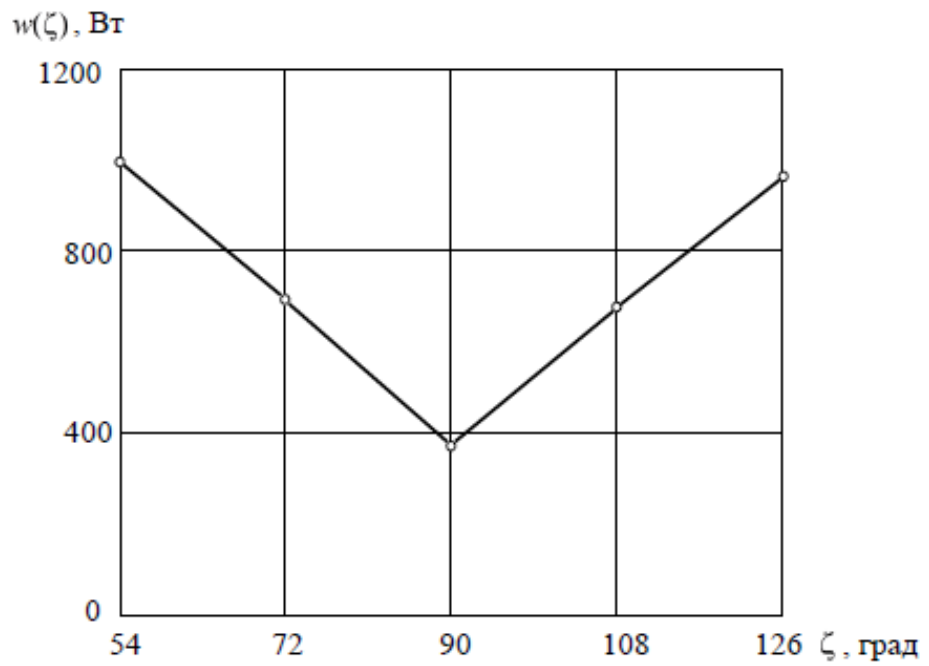


Рис. 3.7. Функції стану: $\varphi_a(n)$ – функція нерухомості, $\varphi_z(n)$ – функція нерухомості.

Таблиця 3.5 – Визначення оптимального зсуву фаз коливань решітних станів.

ζ , град.	54	72	90	108	126
$w(\zeta)$, Вт	978	692	375	684	965

Графік цільової функції $w(\zeta)$ представлений на рисунку 3.8.



Рисю 3.8. Графік цільової функції $w(\zeta)$.

Висновки по розділу

Оптимальний зсув фаз коливань решітних станів ζ дорівнює $\pi/2$, що збігається з результатом розв'язання аналітичного оптимізаційного завдання. При цьому цільова функція $w(\zeta)$ набуває мінімального значення 375 Вт.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що у сортувальній машині з двома решітними станами, фази коливань яких зміщені один відносно одного на чверть періоду, знакозмінні інерційні потужності решітних станів взаємно нейтралізуються і відповідний потік знакозмінної потужності мережі живлення дорівнює нулю, що призводить до радикального зниження споживаної повної потужності та скорочення втрат.

Встановлено, що у механічній коливальній системі, що складається з інертних решітних станів, відбувається взаємний обмін кінетичною енергією між решітними станами.

Встановлено, що може бути побудована система коливання з будь-якою кількістю інертних елементів (решітних станів). У триелементній схемі кути між ексцентриками мають становити 120 градусів.

Встановлено, що умовою самонейтралізації реактивної потужності в сортувальній машині з двома решітними станами, фази коливань яких зміщені одна щодо одної на чверть періоду, є рівність нулю сумарного механічного інертного реактансу машини, внаслідок чого машина не надає опору приводу, що повідомляє коливальні рухи решітних станів.

Встановлено, що застосування кінематичної схеми решітної сортувальної машини зі зсувом фаз коливань решітних станів відносно один одного на чверть періоду коливань дозволяє в 4,8 рази зменшити нерівномірність дисипативної потужності, що розсіюється в сипучому матеріалі.

Запропоновано технічне рішення щодо підтримки сталості інертних мас решітних станів в автоматичному режимі. Можливість зниження повної споживаної потужності при використанні кінематичної схеми сортувальної машини зі зміщенням фаз коливань решітних станів на $\pi/2$ підтверджено експериментально.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдеев А. В. Перспективная зерносушильная техника. Машинные технологии и техника для производства зерновых, масличных и зернобобовых культур : сборник научных докладов Всероссийский институт механизации ; Международная научно–практическая конференция «Земледельческая механика в растениеводстве». Москва : ВИМ, 2001. Т. 3, ч. 2. С 34-43.

2. Анискин В. И. Двухэтапная технология: сокращение затрат на технику. Техника в сельском хозяйстве. 1999. № 6. С. 56-61.

3. Анискин В. И. Приоритетные направления и принципы развития механизации растениеводства. Тракторы и сельхозмашины. 2002. № 6. С. 32-28.

4. Анискин В. И. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок. Москва : ВИМ, 2003. 167 с.

5. Бабченко В. Д. Исследование работы роликового решета. Сборник научных трудов. Всероссийский институт механизации. Москва : ВИМ, 1984. Т. 100 С. 245-251.

6. Басалгин С. Е. Повышение эффективности функционирования семяочистительных линий путем совершенствования рабочего процесса воздушнорешетной машины: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Басалгин Сергей Евгеньевич. Санкт–Петербург .2004. 210 с.

7. Бахарев Ю. А. Оптимальные режимы сепарации зерна на плоскопробивных решетках. Наука – сельскому хозяйству. 1994. С. 12-17.

8. Бурков А. И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытания / Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства северо-востока имени Н. В. Рудницкого. – Киров : НИИСХ Северо–Востока, 2000. С. 23-28.

9. Бурков А. И. Повышение эффективности функционирования пневмосистем зерно– и семяочистительных машин совершенствованием их

технологического процесса и основных рабочих органов : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Бурков Александр Иванович. Санкт–Петербург : Пушкин, 1993. 386 с.

10. Бутковский В. А. Технологии зерноперерабатывающих производств / Москва : Интерграфсервис, 1999. 267 с.

11. Быков В. С. Влияние длины подвесок на работу плоского решета. Техника в сельском хозяйстве. 1995. № 1. С. 342-350.

12. Валиев Х. Х. Высокопроизводительные рабочие органы для предварительной очистки влажного зернового вороха. Тракторы и сельхозмашины. 1990. № 6. С. 111-118.

13. Ветров, В. А. Повышение эффективности использования зерноочистительных агрегатов : специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ветров Владимир Александрович ; Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. Саратов, 1997. 235 с.

14. Галкин В. Д. Воздушно–решетная зерноочистительная машина производительностью 10 т/ч и варианты ее использования / Достижения науки – агропромышленному производству : материалы XLIV международной научно–технической конференции. Челябинский государственный аграрный университет. –Челябинск : Челябинский ГАУ, 2005. С. 76-81.

15. Ермольев Ю. И. Интенсификация технологических операций в воздушно–решетных зерноочистительных машинах / Донской государственный технический университет. Ростов–на–Дону : Издательский центр ДГТУ, 1998. С. 312-318.