

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допущений до захисту:

(вчене звання, прізвище, ініціали)

(Підпис)

“ ____ ” _____ 2021 р.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА ЛІНІЙНОГО
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО
СЕПАРАТОРА ЗЕРНА

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика,
електротехніка і електромеханіка

Виконала: студентка групи ЕІ-20-Мз
Козаченко Алла Валеріївна

(підпис)

Керівник: к. т. н., доцент
Ярошенко Леонід Вікторович

(підпис)

2021

ЗМІСТ

Завдання на магістерську роботу	2
Анотація	6
Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ	
1.1 Аналіз технологічного процесу переробки гречки на ВАТ “Вінницький завод хлібопродуктів”	10
1.2 Особливості сепарування сільськогосподарської продукції та вимоги до нього	12
1.3 Класифікація способів сепарації сипучої продукції	15
1.4 Багато-фракційний вібраційний сепаратор зі складеним вертикальними приводним валом	20
1.5 Аналіз конструктивних та технологічних схем вібробудження	25
1.6 Висновки та постановка задач досліджень	33
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА	
2.1 Технологічні характеристики вібровідцентрового сепаратора	36
2.1.1 Застосування вібрації при очищенні і сортуванні насіння	36
2.1.2 Вплив параметрів робочого органу на технологічну характеристику	37
2.1.3 Лінійний асинхронний електропривод коливного руху	37
2.2 Вібровідцентровий сепаратор з лінійним асинхронним електроприводом	38
2.3 Кінематичні характеристики вібровідцентрового сепаратора з лінійним асинхронним електроприводом	40
2.4 Математична модель вібровідцентрового сепаратора з лінійним асинхронним електроприводом	43

2.5	Опис приводних електродвигунів в математичній моделі за допомогою рівнянь Парка-Горєва	44
2.6	Математична модель вібровідцентрового сепаратора з лінійним асинхронним електроприводом в середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab	50
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК		
ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА З ЛІНІЙНИМ		
АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ		
		58
3.1	Механічні характеристики	59
3.2	Навантажувальні характеристики	60
3.3	Аналіз впливу конструктивних і технологічних параметрів коливного приводу на амплітудно-частотні характеристики	63
3.4	Енергетичні характеристики і продуктивність	69
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА ВІБРОСЕПАРАТОРІ		
		76
4.1	Аналіз дії вібрації на організм людини та методи захисту від неї	76
4.2	Заходи щодо обмеження несприятливого впливу виробничої вібрації на працюючих	79
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ		
		83
5.1	Розрахунок техніко-економічних показників	83
5.2	Висновки по розділу	87
	Загальні висновки	88
	Перелік використаної літератури	90
	Додатки	94

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему “Обґрунтування параметрів і розробка лінійного асинхронного електроприводу вібровідцентрового сепаратора зерна” виконана студенткою групи EI-20-Мз Козаченко Аллою Валеріївною у Вінницькому національному аграрному університеті на кафедрі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки інженерно-технологічного факультету, рік захисту 2021. Робота містить 95 аркушів, 8 таблиць, 25 рисунків, а список літературних джерел містить 45 найменувань.

В роботі розглянуті технологічні особливості очищення зерна за допомогою вібросепараторів, удосконалено конструкцію відцентрового вібросепаратора, уточнена математична процесу його роботи, розраховано та вибрано приводний електродвигун, здійснена його перевірка та побудовані механічні характеристики, розроблена схема автоматичного керування вібробуджувачем з лінійним асинхронним електроприводом, розроблені заходи техніки безпеки при роботі на вібросепараторі, проведено оцінку економічної ефективності впровадження розробки у виробництво.

SUMMARY

The master's qualification work on the topic "Substantiation of parameters and development of linear asynchronous electric drive vibrocentric grain separator" was performed by a student of EI-20-Mz Kozachenko Alla Valerievna at Vinnytsia National Agrarian University at the Department of Electrical Engineering, Electrical Engineering and Electromechanical Engineering. contains 95 sheets, 8 tables, 25 figures, and the list of references contains 45 titles.

The technological peculiarities of grain cleaning by means of vibroseparators are considered in the work, the design of centrifugal vibroseparator is improved, mathematical process of its work is specified, the drive electric motor is calculated and chosen, its check is carried out and mechanical characteristics are constructed, the scheme of automatic control of when working on a vibroseparator, an assessment of the economic efficiency of the implementation of development in production.

ВСТУП

Розвиток сільського господарства залежить від умов забезпечення якості та збереження вирощеної і переробленої продукції. Для вирішення цих завдань, зокрема зернопереробні підприємства, повинні мати добре оснащену технічну базу, здатну забезпечити якісне сепарування зерна, що надходить, без втрат протягом короткого терміну. Сепарація зернових сумішей, є ключовою не тільки в процесі переробки, але і є одним з основних шляхів, що сприяють підвищенню врожайності зернових культур, так як процес сепарування сприяє відбору найбільш високоякісного (фізіологічно дозрілого) посівного матеріалу [27]. Робота з зерном базується на основних принципах, які включають в себе прогресивну технологію, потокові методи обробки та автоматизацію процесу виробництва [12]. Післязбиральна обробка зерна повинна забезпечувати вчасну організацію і виконання всіх її етапів при цьому забезпечуючи мінімально можливі значення енерго- і трудомісткості процесу [13].

Переважаюча більшість використовуваних на сьогоднішній день у сільському господарстві машин для сепарації мають досить низьку продуктивність, так як в більшості своїй для очищення зернових сумішей використовують гравітаційні сили. Виробництво вимагає нових, більш енергетично і технологічно ефективних способів сепарування, а також створення або модернізації існуючих сепаруючих машин з більш високими показниками продуктивності, якості та ефективності поділу зернових сумішей [

Дослідження процесів сепарування зернових сумішей в зернових сепараторах проведені багатьма вченими, в числі яких можна відзначити роботи: І.І. Блехмана [13; 14], І.Є. Кожуховського [17], П.М. Заїки [19; 20], А.Я. Соколова [11]; А.В. Барілла [9] Л.В. Ярошенка [19] та інших. На підставі проведених наукових досліджень були запропоновані різні конструкції зернових сепараторів, найперспективнішими серед яких є вібровідцентрові [17; 21]. Надання робочому органу обетрово-коливного руху дозволило значно збільшити продуктивність сепаратора [9].

Основною трудностю при розгляді питань вдосконалення сучасних зернових вібро-відцентрових сепараторів є відсутність обґрунтованої конструктивної схеми вібраційного приводу, яка дасть можливість реалізації заданого закону коливань з необхідною точністю і можливістю плавно регулювати амплітуду і частоту коливань робочого органу у вертикальній площині. Розв'язок цих завдань дасть можливість значно підвищити показники енергетичної та технологічної ефективності зерноочисного обладнання.

Актуальність теми. Найперспективнішими зерноочисними машинами є вібровідцентрові сепаратори (ВВС), в яких під дією інерційних сил обертового і коливного рухів робочого органу відбувається інтенсивне сепарування зернової суміші. Дані сепаратори порівняно з машинами плоско-решітного типу, мають продуктивність до 4-х разів вищу, енергоспоживання менше до 2-х разів і за рахунок вертикального розташування решіт займають менше площі.

Існуючі конструкції приводу коливного руху робочого органу ВВС на базі електродвигуна обертового руху і перетворювачів виду руху у вигляді кривошипно-шатунного механізму мають ряд суттєвих недоліків: кінематичну складність конструкції, неможливість регулювання амплітуди коливань робочого органу без зупинки машини. Все це веде до підвищеного зносу елементів коливного приводу (втулок, підшипників вібратора, кріплень шатуна і т.д.), ресурс яких становить близько 180 ± 20 годин [18; 19], і вимушеної зупинки сепаратора для регулювання амплітуди його коливань, що в цілому знижує ефективність роботи ВВС.

Одним із шляхів усунення цих недоліків є видалення перетворювачів виду руху з розробкою коливного приводу ВВС у вертикальній площині на базі плоского лінійного асинхронного електродвигуна (ЛАД). Таке технічне рішення дозволить істотно поліпшити техніко економічні показники та ефективність ВВС [13].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у ході виконання ініціативної договірної господарської тематики.

Мета роботи: Розробка вертикального коливного електроприводу робочого органу на базі плоского лінійного асинхронного електродвигуна з обґрунтуванням його параметрів для підвищення ефективності вібровідцентрового сепаратора зерна.

Об'єкт дослідження технологічний процес роботи вібровідцентрового сепаратора для очищення зерна.

Предмет дослідження коливний електропривод робочого органу вібровідцентрового сепаратора зерна на базі плоского лінійного асинхронного електродвигуна.

Методи дослідження Основні результати дисертаційної роботи отримані на базі фундаментальних законів і рівнянь механіки і електромеханіки і основних положень теорії електроприводу, застосовано метод математичного моделювання на ПК в середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab Simulink.

Наукова новизна

1. Запропоновано новий спосіб здійснення коливань робочого органу ВВС у вертикальній площині на базі плоского ЛАД.

2. Удосконалено математичну модель коливного руху робочого органу, яка дозволяє визначити приводні характеристики і продуктивність установки, а також основні параметри електричного приводу на базі плоского ЛАД.

3. Встановлено закономірності між конструктивними і технологічними параметрами коливного електроприводу на базі плоского ЛАД з урахуванням фізичних властивостей зернової суміші.

Практична цінність

Для підвищення ефективності ВВС запропонований спосіб здійснення коливань робочого органу на базі плоского ЛАД. Визначено основні параметри коливного руху робочого органу ВВС і встановлений їх взаємозв'язок. Розроблена математична модель вертикального коливного руху робочого органу ВВС, яка дозволяє визначити приводні характеристики і встановити режимні параметри електричного приводу на базі плоского ЛАД.

Апробація роботи

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково – студентській конференції (ВНАУ, 2021 р.). Робота доповідалась на науковому семінарі кафедри “Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки”.

РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз технологічного процесу переробки гречки на ВАТ “Вінницький завод хлібопродуктів”

У ВАТ “Вінницький завод хлібопродуктів” в технологію виробництва гречки входить комплект обладнання акціонерного товариства “Бриг”. Технологічна лінія з переробки гречки працює в такій послідовності:

Сировину засипають в приймальні бункери. Звідти вона транспортується до верстата для сортування зерна на чотири фракції, де сортується на фракції і подається у відповідні бункери. З бункера гречка транспортується за допомогою пневмотранспорту до пропарювача, де обробляється парою. Пару для обробки гречки створює паровий генератор і під робочим тиском 0,35 МПа подає до пропарювача періодичної дії. З пропарювача гречка подається в бункер для пропареного зерна, звідки транспортується до сушильного пристрою прохідного типу, який знижує вологість гречки на 3-4 % і подається до бункера просушеного зерна. З бункера гречка транспортується у вібробункер, з якого іде дозована подача гречки у верстат для лущення гречки, де гречка лущиться, відділяється від луски, сепарується і подається в бункер для лущеного зерна.

Продуктивність лінії по сировині становить 190-210 кг/год, по готовому продукту 900-1000 кг/зміну. Можливе пере-налаштування лінії для виробництва битої горохової крупи.

Вихід товарної продукції становить:

гречаної крупи з використанням гідротермічної обробки	68 %
в тому числі січки	до 3 %
без гідротермічної обробки	66 %
в тому числі січки	до 10 %

Кількість обслуговуючого персоналу становить двоє людей.

Потужність (з гідротермічною обробкою) встановлена 75,7 кВт, споживана

50,3 кВт.

До складу комплексу обладнання для виробництва гречаної крупи входить:

1. Верстат для сортування зерна на чотири фракції.
2. Пропарювач періодичної дії, разове завантаження 42 кг.
3. Парогенератор електричний 30 кг/год пари, максимальний тиск якого становить до 0,55 МПа. Робочий тиск пари становить 0,35 МПа.
4. Сушильний пристрій прохідного типу, зниження вологості за один прохід становить 3-4 %.
5. Верстат для луцення вальцедекової конструкції з системою аспірації. Продукти луцення розділяють на чотири фракції з виділенням мучки.
6. Зерносушарка шахтного типу ЗШ-400 для сушки гречаної крупи, зі зниженням вологості за один прохід на 5-7 %. Може використовуватись для інших зернових культур та сипучих матеріалів.

Одним із недоліків обладнання вказаної зернопереробної лінії є доволі низька якість сортування зерна на фракції сепарації, внаслідок чого вихідний продукт після сепарації містить багато домішок (до 5 %), що погано впливає на якість кінцевого продукту, окрім того даний лотковий сепаратор важко збалансувати, тому під час роботи він створює великий рівень шуму а на будівельні конструкції та навколишнє обладнання передаються значні вібрації. Ще одним недоліком даного вібросепаратора є його доволі висока енергоємність, що пояснюється наявністю великої кількості підшипникових вузлів та поганою збалансованістю вібрлотків. Тому доцільно розробити вібросепаратор, який мав би простішу і надійнішу конструкцію, кращу якість сепарації, кращу збалансованість та меншу енергоємність. Усім цим вимогам найкраще відповідає конструкція багато фракційного вібросепаратора із вертикальним складеним привідним валом та спіральними вібрлотками [28]. У даному вібросепараторі використовуються вібратори само балансного типу, що практично усуває передачу вібрації на будівельні конструкції та навколишнє обладнання вібрацій, а процес сепарації має меншу енергоємність та вищу якість.

1.2 Особливості сепарування сільськогосподарської продукції та вимоги до нього

За допомогою машин для вібраційного розділення (сепарування) сипучих сумішей розв'язують наступні технологічні задачі;

- очищення сировини від домішок;
- фракціонування і сортування.

Ознаками розділення частин за допомогою вібрації можуть бути (див. табл. 1.1): розміри, форма, густина матеріалу, коефіцієнти зовнішнього тертя, пружність, феромагнітні властивості.

В більшості процесів вібраційного сепарування ці властивості проявляються в певних поєднаннях; тоді одну з них виділяють в якості основної, а решту називають супутніми.

Основні технологічні характеристики сепараторів:

- продуктивність-кількість вихідної суміші, оброблюваної за одиницю часу;
- число фракцій;
- коефіцієнти, що характеризують кількість компонентів, які попали у відповідну їм фракцію, віднесені до їх кількості у вихідній суміші, або кількості цієї фракції (коефіцієнт чистоти фракції).

В більшості машин вібраційну дію на сипучий матеріал використовують:

- для транспортування вихідної суміші в робочий простір, рівномірного розподілу суміші між робочими органами, а також транспортування проміжних і кінцевих продуктів;
- для зосередження частин неоднорідної суміші в певних місцях робочого простору;
- для роздільного виведення фракцій із робочого простору.

Ознаки і спосіб розділення частин суміші, характеристики робочих органів, форми їх коливань, технологічна і конструктивна схеми машин знаходяться у визначеному зв'язку.

Таблиця 1.1 *Характеристики машин для розділення сипучих сумішей*

Ознаки розділення частин		Спосіб розділення	Робочі органи	Коливання	Галузева назва машини
основні	супутні				
розміри	густина	ситовий	сита (решета)	прямолінійні, кругові, еліптичні в горизонтальній або вертикальній площині	грохоти, ситові сепаратори (с/г.) розсіви (зернопереробна промисловість)
форма	коефіцієнт зовнішнього тертя, густина	вібраційне транспортування	коміркові, шорсткі поверхні	прямолінійні похилі до горизонтальної площини	вібросепаратори
густина	розміри форма	само сортування	шорсткі поверхні (плоскі або конічні) зі	кругові в горизонтальній площини, кругові сферичні	каменевідбійники Григоровича, фракціонуючі типу БОК (зер.
густина	коефіцієнт зовнішнього тертя форма	вібропневматичний без просіювання	шорстка плоска поверхня	прямолінійні похилі до горизонтальної площини	Вібропневматичні сепаратори (зер. пер пром)
густина, розміри	форма	вібропневматичний з просіюванням	сита і повітряні канали	прямолінійні нахилені до горизонтальної площини	Ситовійки, повітряні грохоти пневмостоли
пружність	густина, коефіцієнт тертя	ударно-вібраційний	похилі, гладкі опорні з вертикальними боковими стінками	горизонтальні прямокутні і зворотно обертові	сортувальні столи (зер. пер. пром)

Серед машин, в яких розділення на фракції відбувається при вібротранспортуванні; коли частини з різною якістю поверхні та відповідно різним коефіцієнтом тертя розділяються за швидкістю пересування на лотку, а частини, що мають різний статичний момент маси розподіляються за напрямком пересування.

Залежно від режиму обробки продукції можна виділити вібраційне сепарування, тобто ситове розділення неоднорідної системи у вібраційному полі без підкидання і ударне. Безперервний контакт із ситовою поверхнею і відсутність інтервалів відносного спокою для першого режиму збільшує ймовірність просіювання частинок з нижнього шару і зменшує динамічні навантаження на робочі органи. Але при цьому має місце надлишковий тиск верхніх шарів продукції, що забезпечує сили тертя між частинами нижніх шарів. Такий режим обробки доцільний для розділення суміші по ширині і товщині частинок за допомогою пробивних листових сит з круглими і прямокутними отворами, а також плетених металевих сит. Для чіткого розділення сипучих мас по товщині (ширині) частинок на велику кількість фракцій використовують робочий режим з рівноцінними круговими вібраціями лотка в горизонтальній площині. При цьому в якості робочих органів використовуються ярусне розташування сит, виготовляють із металу, шовку або штучного волокна, а ситові корпуса виконуються у формі шафи, що забезпечує герметичність і зручність в експлуатації.

При необхідності розділення суміші, що має частинки різноманітної форми та зв'язаних сипучих сумішей, доцільно використовувати рівномірно кругові коливання лотка в режимі з безперервним підкиданням. При цьому віброударна дія сприяє не лише розпушенню і само сортуванню неоднорідної системи, але й потребує використання міцних і жорстких сит, які частіше виконуються у вигляді колосників.

На вибір вібраційного режиму обробки також впливає форма частинок продукції. Для просіювання частинок, форма яких була близькою до сферичної, оптимальними вважаються кругові поступальні коливання в горизонтальній площині. Коли форма частинок продовгувата, то ефективними є прямолінійні коливання.

1.3 Класифікація способів сепарації сипучої продукції

При сортуванні використовують наступні основні типи сепараторів [2, 8, 10, 15, 20]:

- а) колосникові сепаратори, які складаються з окремих елементів (колосників);
- б) плоскі коливні сепаратори, які отримують коливання від певного механізму, причому коливання здійснюються в площині решета або під кутом до неї;
- в) плоскі вібраційні сепаратори, які створюють швидкі вібрації змінної амплітуди, приблизно нормально до площини решета;
- г) барабанні сепаратори у вигляді решітчастого циліндра або зрізаного конуса, що повільно обертається навколо своєї осі.

Останні три типи по суті є рухомими сепараторами з більш або менш складним механізмом, а поверхня, на якій проводиться сепарування, може бути із штампованого листа або з дротяного сита.

Плоскі коливні і плоскі вібраційні сепаратори можна об'єднати в одну групу плоских рухомих сепараторів, дія яких основана не лише на силі ваги, але й на взаємодії її сил інерції і тертя.

Плоскі сепаратори мають наступні переваги:

- вони дають добре сортування, так як працюють всією поверхнею решета;
- займають мало місця;
- зручні для обслуговування і ремонту.

Недоліки плоских сепараторів:

- велика швидкість руху, що вимагає доброго виконання, догляду і мащення частин, що труться;
- поштовхи і струси, що передаються будівельним спорудам та навколишньому обладнанню;
- порівняно швидке зношення решіт;
- шум при роботі.

У коливних сепараторів короб здійснює вимушений рух завдяки наявності жорсткого кінематичного зв'язку між рухомим механізмом (ексцентриком) і

коробом. Величина ходу і траєкторія руху точок короба є достатньо визначеними, незалежними від швидкості і навантаження на сепаратор.

У вібраційних сепараторів жорсткий кінематичний зв'язок між рухомим механізмом і коробом відсутній. Амплітуда вільних коливань (вібрацій) залежить від динамічних факторів сил інерції, жорсткості пружин, величини рухомих мас та інше.

Для вібраційних сепараторів характерна мала амплітуда і велика частота вібрацій. У вібраційному сепараторі рух, приблизно нормальний до поверхні решета, призначений для покращення якості сортування тим, що швидкі коливання решета вгору та вниз, підкидаючи матеріал, сприяють звільненню застряглих зерен, провалювання нижнього сорту і стратифікацію всього шару матеріалу, при якій більш крупні частини відкидаються на поверхню шару, а більш дрібні залишаються внизу, біля решета, що також покращує сортування. Характер руху решета вібраційного сепаратора сприяє ще й збільшенню продуктивності, а також оскільки, рух матеріалу здійснюється без притоку енергії зовні, за рахунок дії сили тяжіння, то витрата потужності повинна бути надто малою. У вібраційному сепараторі рух решета викликається або повністю або частково динамічними причинами, причому напрямок руху приблизно або навіть точно нормальний до площини решета; амплітуда вібрацій тут не строго постійна, а може залежати від кутової швидкості вала механізму, або ж від установки вібратора.

Вібраційні сепаратори дають найкраще сортування, ККД яких доходить до 90%, відрізняються найбільшою продуктивністю на 1м² площі решета і найменшою витратою потужності.

Вібраційні сепаратори за способом надання руху решету можна розділити на такі класи: механічні і електричні сепаратори. Механічні можна розділити за принципом дії механізму на два типи:

- ударні, дія яких заснована на ударі, що наноситься решету або окремими його точками за допомогою молотків або ж кулачковим механізмом;
- інерційні, які діють за допомогою сили інерції неврівноважених обертових мас.

Ударні сепаратори отримують коливання від ексцентрика і в кінці ходу вдаряють в буферний брус. В результаті сильних ударів машини не були довговічними, робота супроводжувалась сильними шумами, тому такі сепаратори не знайшли широкого розповсюдження. Ударні сепаратори з молоточками, що вдаряють в сито, також майже вийшли із використання.

Найбільш розповсюджений тип сучасних інерційних сепараторів з незбалансованим швидко обертовим шківом, що викликає своєю відцентровою силою інерції вібрації рами сепаратора, яка повинна бути прикріплена пружно до головної нерухомої станини, для цього використовуються пружини (листові або гвинтові), гума.

Дія електричних сепараторів основана на притягуванні і відпусканні решета електромагнітом, через який пропускається змінний однофазний струм, внаслідок чого вібрації викликаються не силами інерції, а електромагнітною силою. Таким чином відпадає потреба в механічному приводі і принцип дії цього сепаратора є чисто електричний. Недоліки цих сепараторів в тому, що вони потребують особливого генератора для перетворення струму і їх котушка може перегорати. Крім того, вони займають багато місця по висоті і потребують уважного догляду, і нарешті вони дорогі і дуже чутливі до вологи. Тому найбільш підходящими для сепарування дрібних сортів сільськогосподарської продукції слід визнати механічні вібраційні грохоти інерційного типу.

Залежно від режиму обробки продукції можна виділити вібраційне сепарування, тобто ситове розділення неоднорідної системи у вібраційному полі без підкидання і ударне. Безперервний контакт із ситовою поверхнею і відсутність інтервалів відносного спокою для першого режиму збільшує ймовірність просіювання частинок з нижнього шару і зменшує динамічні навантаження на робочі органи. Але при цьому має місце надлишковий тиск верхніх шарів продукції, що забезпечує сили тертя між частинами нижніх шарів. Такий режим обробки доцільний для розділення суміші по ширині і товщині частинок за допомогою пробивних листових сит з круглими і прямокутними отворами, а також плетених металевих сит. Для чіткого розділення сипучих мас по товщині (ширині) частинок

на велику кількість фракцій використовують робочий режим з рівноцінними круговими вібраціями лотка в горизонтальній площині. При цьому в якості робочих органів використовуються ярусне розташування сит, які виготовляють із металу, шовку або штучного волокна, а ситові корпуси виконуються у формі шафи, що забезпечує герметичність і зручність в експлуатації.

При необхідності розділення суміші, що має частинки різноманітної форми та зв'язаних сипучих сумішей, доцільно використовувати рівномірно кругові коливання лотка в режимі з безперервним підкиданням. При цьому віброударна дія сприяє не лише розпушенню і само сортуванню неоднорідної системи, але й потребує використання міцних і жорстких сит, які частіше виконуються у вигляді колосників.

На вибір вібраційного режиму обробки впливає також форма частинок продукції. Для просіювання частинок, форма яких була близькою до сферичної, оптимальними вважаються кругові поступальні коливання в горизонтальній площині. Коли форма частинок продовгувата, то ефективними є прямолінійні коливання.

До основних технологічних факторів, що визначають конструктивні особливості, вібросепаратора можна віднести періодичність і послідовність стадій циклу обробки продукції.

Вібраційні сепаратори безперервної дії використовуються, як правило, в основному технологічному процесі, для ефективною реалізації якого потрібна стабільність за густиною складу і іншими характеристиками вихідної суміші. Вібросепаратори періодичної дії доцільні або на допоміжних операціях, або в якості обладнання для оцінки ефективності основних машин. Такі установки відрізняються порівняно невеликою продуктивністю, але мають високу точність сепарування.

Послідовність виділення фракцій неоднорідної системи визначає особливості виконання робочих органів вібросепараторів. Так, ярусне розташування сит має місце при сепаруванні продукції від великої до дрібної фракції. Для такого процесу характерне точніше сепарування внаслідок поступового розділення великих частинок від дрібних і зменшення ступеня подрібнення великих фракцій, оскільки

вони виводяться вже на перших ситах. Крім того, вся маса подається на більш міцне перше сито, що зумовлює підвищення довговічності решти сит. При розділенні спочатку дрібних фракцій сита розташовують в одній площині, горизонтальній або похилій. Такі машини відрізняються простотою конструкції, зручністю в обслуговуванні і експлуатації. Комбінація розглянутих способів сепарування може мати місце в апаратах барабанного типу.

Теорія процесів сепарування зернових сумішей, а також машин, які здійснюють дану технологічну операцію і застосовуються в області зберігання і переробки зерна в сільському господарстві, отримала свій розвиток в працях В.В. Гортинського [16], А.Я. Соколова [11], П.М. Заїки [19; 20], Г.Є. Листопада [11] та інших вчених.

На підприємствах зберігання та переробки зерна найширшого застосування набуло плоско-решітне сепарування [12]. При плоско-решітному сепаруванні поряд з основними ознаками поділу, такими як розміри і форма частинок, на процес впливають (сприяють або ускладнюють) щільність, коефіцієнт тертя об поверхню і ін. Одним з основних труднощів для подальшого вдосконалення і підвищення ефективності сепарування плоскими решетами є використання сил гравітації при поділі зернових сумішей [109]. Найбільш перспективними на тлі плоско-решітних машин, є вібровідцентрові зернові сепаратори (ВВС), які для інтенсивного сепарування оброблюваної зернової суміші використовують сили інерції обертання і вібрації.

В роботі [26] в якості одного з найважливіших завдань висунуто "Обґрунтування і реалізація методів підвищення інтенсивності відомих процесів шляхом застосування поля відцентрових сил, накладення високочастотних коливань і т.д." Там же відзначені корисні дії вібрації: "Накладення високочастотних коливань - це спосіб ослаблення фрикційних зв'язків як з робочими органами, так і між частинками, що сприяє збільшенню їх рухливості при ситовому сепаруванні, при використанні ефекту само-сортування та в інших випадках" [36].

В роботі А.П. Бессонова, І.І. Артоболевського [8] зазначається, що після вивчення структурних і механічних параметрів оброблюваних середовищ, які

проходять обробку за допомогою вібраційних машин, необхідно "... розвивати механіку вібраційних машин, тобто вирішення основних питань динаміки тієї коливної системи, до якої може бути зведена досліджувана машина. Питання механіки вібраційних машин будуть в першу чергу полягати у визначенні оптимальних параметрів вібраційних машин, до яких відносяться частота і амплітуда їх коливань".

Дослідження руху частинок сипких матеріалів по поверхні решіт, які здійснюють різні види коливного руху, розглянуто в працях І.І. Блехмана [14; 15], В.В. Гортинського [36] та інших вчених. Теоретичне дослідження і розрахунок основних параметрів зернових сепараторів отримали розвиток в роботах А.Я. Соколова [11], П.М. Заїки [20], Л.Н. Тищенко [19] та інших.

Таким чином, застосування вібрації при сепаруванні зернових сумішей представляє досить великий інтерес. Для подальшого, більш широкого використання зернових сепараторів на основі вібрації на сільськогосподарських підприємствах необхідно подальше дослідження технології вібропідготовки, конструкції вібросепараторів та їх електроприводу, що дозволить значно поліпшити якість технологічного процесу, підвищити ефективність розділення зернових сумішей і термін експлуатації машин [33]. Для повного розуміння стану питання, розглянемо конструкції зерноочисних сепараторів, найбільш поширених на сільськогосподарських підприємствах нашої країни.

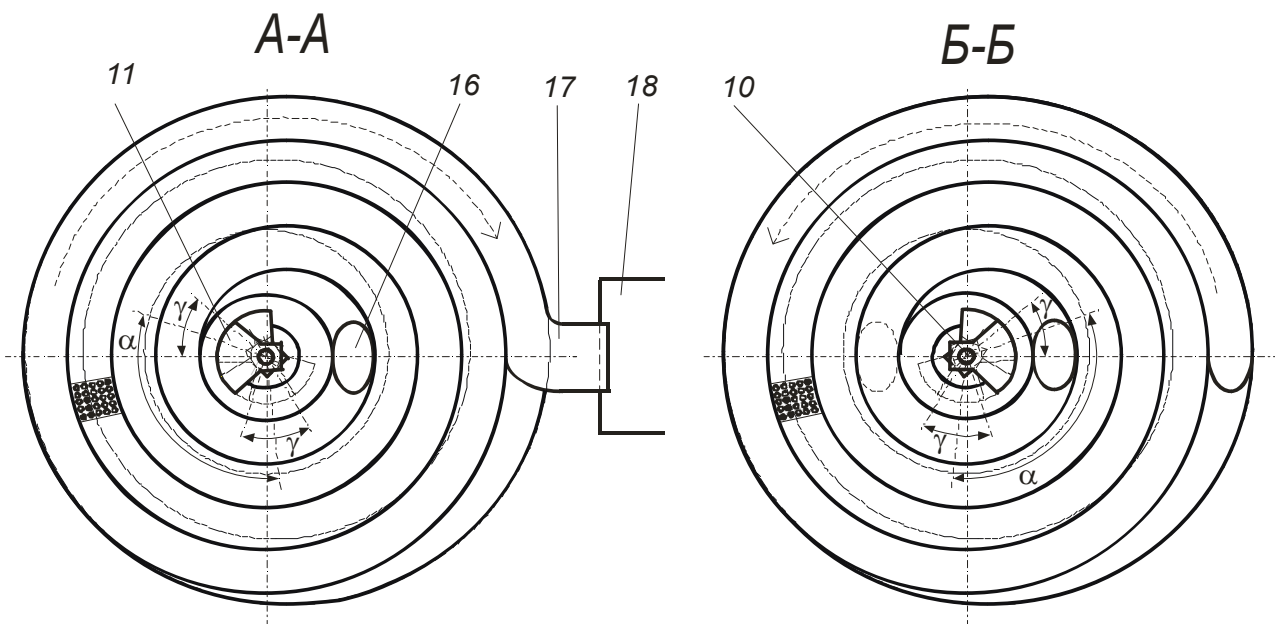
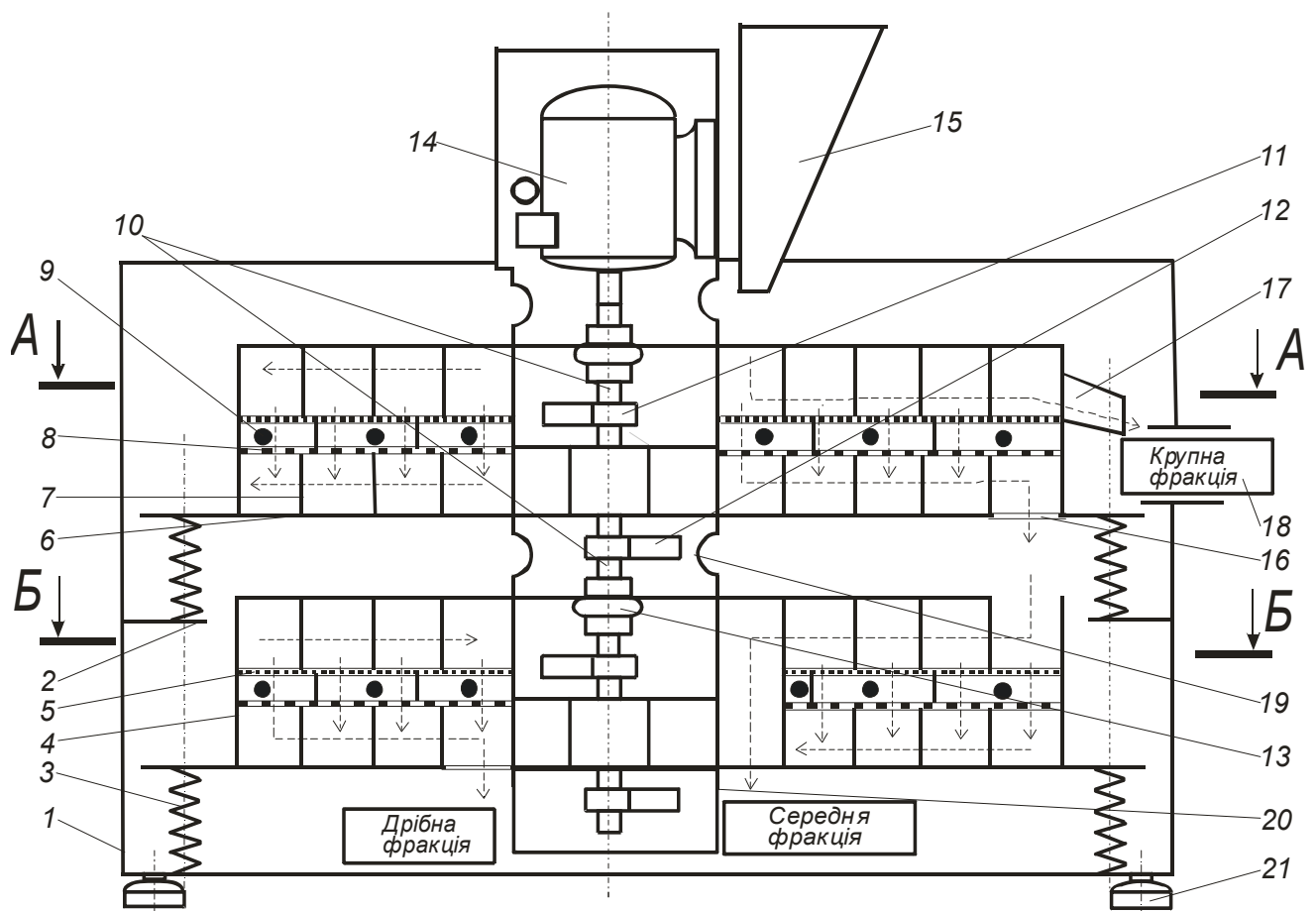
1.4 Багато-фракційний вібраційний сепаратор зі складеним вертикальними приводним валом

При сепарації сипучої сільськогосподарської продукції, зокрема поділу зернової продукції на фракції за розмірами чи відокремлення луски від ядра зерна, великого значення набуває якість сепарації, наприклад, ретельність розділу зерна на фракції. Оскільки зерно, здебільшого, має форму та розміри, які дуже мало відрізняються одне від одного. Тому розміри отворів решіт сепараторів роблять мінімально можливими за умови проходження насіння, але дотримання цієї умови

призводить до частого забивання отворів решіт, що вимагає застосування решітних станів значної протяжності та габаритів, а також пристроїв для очищення решіт. Окрім того існуючі лоткові вібросепаратори важко збалансувати, тому під час роботи вони створюють великий рівень шуму а на будівельні конструкції та навколишнє обладнання передаються значні вібрації. Ще одним недоліком таких вібросепараторів є їх доволі висока енергоємність, що пояснюється наявністю великої кількості підшипникових вузлів та поганою збалансованістю вібрототків.

Задовольнити вимоги ретельності сепарування зерна на декілька фракцій при невеликих габаритних розмірах решітного стану та невеликій енергоємності процесу сепарації, дозволяє багато-фракційний спіральний вібросепаратор зі складеним вертикальним приводним валом, що розроблений у Вінницькому національному аграрному університеті, його конструктивна схема представлена на рис. 1.1.

Багато-фракційний вібраційний сепаратор складається із рами 1 з опорними панелями 2 на яких, за допомогою рівномірно розміщених по колу пружних елементів 3, по-ярусно встановлені корпуси з ситами 4, що утворені верхнім перфорованим 5 та нижнім суцільним 6 спіральними лотками. Між спіральними лотками закріплені циліндричні вертикальні роздільні перегородки 7 та перепускне сито 8, що утворюють кільцеві лотки. У порожнинах між перегородками 7 вільно розміщені гумові кульки 9. Діаметр отворів перепускного сита 8 повинен бути більшим від діаметра отворів спірального перфорованого лотка 5 але меншим половини діаметра гумових кульок 9. До корпусів з ситами 4 співвісно кріпляться збудники коливань, які складаються із вертикальних валів 10, на обох кінцях яких розміщені верхні 11 та нижні 12 пари дебалансів. Дебаланси виготовлені у формі кругових секторів із прорізами, мають однакові розміри і можуть вільно встановлюватись на відповідних шийках вертикальних валів 10 та фіксуватись стяжними болтами. У кожній парі дебаланси можуть встановлюватись під кутом у один відносно одного, а пари дебалансів 11 та 12 встановлені таким чином, щоб між площинами які проходять через їх центри мас і вісь вертикального валу 10 утворювався кут їх взаємного розвороту α величиною у $30 - 150^\circ$.



1 - рама, 2 - опорна панель, 3 - пружний елемент, 4 - корпус з ситами, 5 - верхній перфорований спіральний лоток, 6 - нижній суцільний спіральний лоток, 7 - циліндрична вертикальна роздільна перегородка, 8- перепускне сито, 9 - гумова куля, 10 - вертикальний вал, 11, 12 - верхня та нижня пари дебалансів, 13 - еластичний елемент, 14 - привідний електродвигун, 15 - живильник, 16 - перепускний люк, 17 - вивантажувальний лоток, 18 - приймальний бункер, 19 - еластичне ущільнення, 20 - кожух, 21 - віброопора

Рисунок 1.1 – Конструктивна схема вібраційного сепаратора зі складеним вертикальними приводним валом

Причому, кут розвороту α , який відраховується у напрямі від нижньої пари дебалансів до верхньої, має напрям відліку, що співпадає із напрямком завивки спіралі лотків. Вертикальні вали 10 з'єднані за допомогою еластичних елементів 13 між собою та з привідним електродвигуном 14. Над початками спіральних перфорованих лотків 5 непарних корпусів з ситами 4, починаючи із верхнього, закріплений живильник 15 чи знаходяться перепускні люки 16 суцільних спіральних лотків верхніх корпусів 4, а в кінці перфорованих лотків 5 знаходяться вивантажувальні лотки 17 та приймальні бункери відповідної фракції 18.

У парних корпусів з ситами 4 - перепускні люки 16 суцільних спіральних лотків верхніх корпусів 4 знаходяться над кінцями цих перфорованих лотків 5, а вивантажувальні лотки 17 та приймальні бункери відповідної фракції 18 знаходяться на початку спірального перфорованого лотка 5. Суміжні корпуси з ситами 4 з'єднані між собою за допомогою еластичних ущільнень 19 таким чином, що утворюють гнучку повітронепроникну трубу. Нижня дебалансна пара 12 найнижчого корпусу із ситами 4 закрита кожухом 20. Вібросепаратор встановлюється на віброопорах 21.

Багато-фракційний вібраційний сепаратор працює таким чином. При включенні привідного електродвигуна 14, обертовий рух через еластичні елементи 13 передається до вертикальних валів 10 із парами дебалансів 11 і 12, що призводить до виникнення систем двох взаємно нерухомих обертових відцентрових сил, які діють на вертикальні вали 10. Під дією цих сил генеруються складні просторові коливання корпусів з ситами 4 та спіралеподібними лотками 5 і 6, які можна розглядати як суму двох коливань: поступальних коливань їх центрів мас по горизонтальних кругових траєкторії та кутових коливань навколо центрів мас [1, 2]. При цьому кожна точка робочих поверхонь спіралеподібних лотків 5 і 6 коливається по траєкторії, яка має форму нахилоного під певним кутом до горизонтальної площини еліпсу. Причому, точки поверхонь спіралеподібних лотків 5 і 6, які лежать на концентричних із осями вертикальних валів 10 колах, здійснюють ці коливання із зсувом фаз одна відносно одної. Такі коливання точок поверхонь спіралеподібних лотків 5 і 6 можна розглядати як розповсюдження вздовж їх кільцевих осей квазіхвиль, які складаються із біжучих повздовжньої і поперечної квазіхвиль, що

зсунуті одна відносно одної на 90° . Причому, хвилеві фронти обох квазіхвиль мають форму площин, які проходять через осі вертикальних валів 10, а довжина квазіхвиль рівна довжині концентричних із віссю валів 10 кіл, вздовж яких вона розповсюджується. Такі коливання точок поверхонь спіралеподібних лотків 5 і 6, призводять до інтенсивного перемішування і вібротранспортування оброблюваного матеріалу вздовж їх спіральних доріжок. Оскільки напрям вібротранспортування шару сипучого матеріалу не залежить від напрямку обертання вертикальних валів 10 і завжди здійснюється у напрямку підрахунку кута розвороту дебалансних вантажів від нижньої пари дебалансних вантажів 12 до верхньої 11 за умови, що цей кут не більший 180° , і у суміжних корпусах зі спіральними лотками 4 цей кут має зустрічний напрям, то вібротранспортування оброблюваного матеріалу на суміжних корпусах зі спіральними лотками 4 буде зустрічним і співпадатиме із напрямком завивки спіралі лотків 5 і 6. Отже оброблюваний матеріал, що подається із живильника 15 на початок спіралі верхнього перфорованого лотка 5, переміщатиметься вздовж нього, при цьому крупна фракція переміщатиметься до його кінця і через вивантажувальні лотки 17 подаватиметься до приймального бункера крупної фракції 18, дрібна фракція, що просипається через отвори перфорованого лотка 5 попадатиме на спіральний лоток із суцільним дном 6 і транспортуватиметься до його кінця, звідки, через перепускний люк 16 просипатиметься на кінець спіралі перфорованого лотка 5 другого корпусу 4, що розміщений нижче. На спіральних лотках 5 і 6 цього корпусу сипучий оброблюваний матеріал транспортуватиметься від кінців спіралей лотків до їх початків, де знову крупна фракція подається до приймального бункера 18, а дрібна фракція, що просипається через отвори перфорованого лотка 5 попадатиме на спіральний лоток із суцільним дном 6 транспортуватиметься до його початку і через перепускний люк 16 просипатиметься на початок перфорованого лотка 5 корпусу 4, що знаходиться під ним і так далі. Таким чином оброблюваний матеріал по чергово проходить через усі перфоровані лотки, де від нього по чергово відділяються крупніші фракції та подається до приймального бункера найдрібнішої фракції 18. Отже, оброблюваний матеріал поділяється на декілька фракцій, кількість

яких на одиницю більша від кількості корпусів з ситами. Траєкторія руху оброблюваного сипучого матеріалу на мал. 1 вказана пунктирними стрілками.

Водночас, під дією коливань корпусу з ситами 4 виникає вібротранспортування гумових кульок 9 вздовж кільцевих лотків, які також здійснюють описані вище коливання. Дане вібротранспортування гумових кульок 9, здійснюється із постійним їх підкиданням і вдаренням об перфоровані робочі поверхні спіральних лотків 5, що супроводжується очищенням останніх від гранул оброблюваного матеріалу, що застряли у їх отворах [3].

Змінюючи масу пар дебалансів 11 і 12, їх ексцентриситет, шляхом повертання і зміни кута взаємного положення дебалансів один відносно одного у кожній парі γ , а також кут взаємного розвороту пар дебалансних вантажів α , можна плавно, у широких межах, регулювати складові траєкторії коливань спіралеподібних лотків 5 і 6 та точок їх поверхонь. При цьому, буде змінюватись інтенсивність перемішування шару оброблюваного матеріалу та швидкість його вібротранспортування вздовж лотків, а отже час обробітку, залежно від вихідних параметрів. Кут взаємного розвороту пар дебалансів 11 і 12 повинен знаходитись у межах $30 - 150^\circ$, оскільки при інших його значеннях не відбуватиметься ефективного вібротранспортування шару оброблюваного матеріалу. Виготовлення лотків 5 і 6 спіральними, дозволяє збільшити протяжність шляху, по якому рухається шар оброблюваного матеріалу по перфорованій поверхні, а отже покращити якість сепарування, при збереженні габаритних розмірів корпусу.

1.5 Аналіз конструктивних та технологічних схем віброзбудження

В загальному кожна вібраційна технологічна машина становить сукупність трьох взаємопов'язаних структур: системи збудження вібрацій, пружної системи та виконавчих органів. Система збудження вібрацій або віброзбуджувач призначена для створення коливного режиму із заданими параметрами вібрації. Залежно від способу перетворення енергії в процесі збудження механічного коливного руху виділяють 4 основні групи віброзбуджувачів: механічні, пневматичні, електромагнітні, гідравлічні. Механічні віброзбуджувачі перетворюють обертовий

чи зворотно-поступальний рух деяких своїх елементів у коливний рух робочих органів вібраційної технологічної машини. В електромагнітних віброзбуджувачах енергія електромагнітного поля перетворюється в енергію механічних коливань виконавчих органів вібромашини. Пневматичні віброзбуджувачі характеризуються перетворенням енергії газоподібного робочого тіла в енергію механічних коливань. Гідравлічні віброзбуджувачі відзначаються реалізацією вібраційного руху виконавчих органів технологічної машини за рахунок енергії рідкого робочого тіла. Загальна класифікація основних типів віброзбуджувачів представлена на рисунку 2.1.

Серед електромагнітних віброзбуджувачів можна виділити електромагнітні, магнітострикційні та електрострикційні. В електродинамічних віброзбуджувачах механічні коливання виникають при створенні змінної електродинамічної сили за рахунок взаємодії постійного магнітного поля з провідником по якому протікає змінний електричний струм. Електродинамічна сила створюється при переміщенні провідника перпендикулярно до напрямку магнітних силових ліній. При цьому до провідника приєднується механічна коливна система. Для даної схеми віброзбудження характерні: простота регулювання амплітуди коливань та можливість її зміни роботі машини; надійність та довговічність механізму внаслідок відсутності пар тертя і можливість використання на одній машині декількох одночасно діючих віброзбуджувачів без спеціальних заходів по синхронізації, оскільки остання забезпечується внаслідок живлення від загальної електромережі; можливість здійснювати практично будь-які траєкторії коливань. Такі особливості зумовлюють широке використання електродинамічних віброзбуджувачів у випробувальних стендах, в радіоелектроніці та акустиці, де використовується вібрація звукового діапазону. Однак, відносна складність конструкції при необхідності забезпечити значні технологічні потужності; чутливість до важких умов експлуатації, наявність у деяких конструкціях значних магнітних полів розсіювання та складність створення просторових коливань значно обмежують технологічне використання даних вібраційних машин.

Магнітомеханічні вібробуджувачі створюють механічні коливання за рахунок дії змінного поля на феромагнітні тіла при протіканні по обмотці змінного струму. Для даних машин характерні: відносно велика маса механізму, що приходить на одиницю амплітуди змушуючої сили: значні витрати електротехнічних матеріалів, пружної сталі, ресор внаслідок необхідності роботи у навколо резонансній зоні. Особливості подібного робочого режиму обумовлюють значний розмах коливань при зміні навантаження, обмеженість амплітуди переміщення робочих органів вібраційної машини величиною повітряного зазору між якорем та осердям електромагніта.

У магніострикційних вібробуджувачах використовуються спеціальні речовини: нікель, пермалой, тобто сплав нікелю із залізом, вібраніт або нікель-цинковий ферит, в яких під дією магнітного поля виникає деформація.

Принцип роботи електрострикційних вібробуджувачів заснований на виникненні переміщень спеціального матеріалу під дією електричного струму. В якості робочої речовини використовуються поляризовані монокристали кварцу, турмаліну, сегнетової солі, штучно поляризовані титанат барію, титанат барію-свинцю, цирконат-титанат свинцю та інші. Деформація при магніто та електрострикції знаходиться у прямій залежності від квадрату напруженості поля та не залежить від напрямку напруженості, т. з. ефект квадратування.

Електромагнітні вібробуджувачі, як правило, працюють у резонансному режимі та знаходять використання в калібровальних, іноді у випробувальних вібростендах, що працюють з високими частотами; в ультразвуковій техніці, вимірювальних приладах, радіоелектроніці, іноді для буріння свердловин, що свідчить про обмежене технологічне застосування подібних машин.

Гідравлічні вібробуджувачі передають коливання робочим органам або за рахунок використання пульсуючого джерела робочої рідини, або переривання потоку рідини постійної витрати за допомогою золотникових пристроїв. Переміщення золотникового механізму реалізується за рахунок дії зовнішнього приводу чи самого вібробуджувача відповідно із положенням його виконавчого

органу. Серед основних конструктивних та технологічних схем гідравлічних вібробуджувачів можна відзначити:

- пульсуючі, в яких коливання гідроциліндра збуджуються пульсуючим тиском потоку рідини;
- авто коливні, що створюють вібрації внаслідок наявності у гідравлічній слідкуючій системі нелінійного елемента - зазору в жорсткому зворотному зв'язку;
- слідкуючі, що мають жорсткий від'ємний зворотній зв'язок по переміщенню між гідророзподілювачем та робочими органами машини;
- самокеровані, в яких механічні коливання генеруються завдяки наявності спеціальних пристроїв, що забезпечують перемикання керуючого золотника в момент знаходження поршня гідроциліндра в крайньому положенні.

Частота коливань в даних машинах регулюється тиском, що підводиться до системи, амплітуда – величиною зазору у зворотному зв'язку автоколивного вібробуджувача або зміщенням упорів перемикаючих пристроїв для самокерованих вібробуджувачів. До переваг гідравлічних вібробуджувачів можна віднести простоту конструкції, зокрема для пульсуючих механізмів; простоту регулювання частоти та амплітуди: можливість використання пульсацій від одного насоса декількома виконавчими гідроциліндрами: органічне поєднання вібробуджувача з пружною системою машин. Серед недоліків даних механізмів відзначаються: витіки робочої рідини в процесі роботи через зазори між поршнем та циліндром, ущільнення штока; нагрівання робочої рідини при експлуатації машини, що зумовлюється замкненістю робочої порожнини машини, незначними площами теплообміну, дросельним регулюванням амплітуди, використанням гідромагістралі значної довжини. Гідравлічний вібропривід найбільш придатний для вібраційних машин, що потребують значної потужності при обмежених габаритах конструкції. Він може створювати значні сили при значних амплітудах коливань.

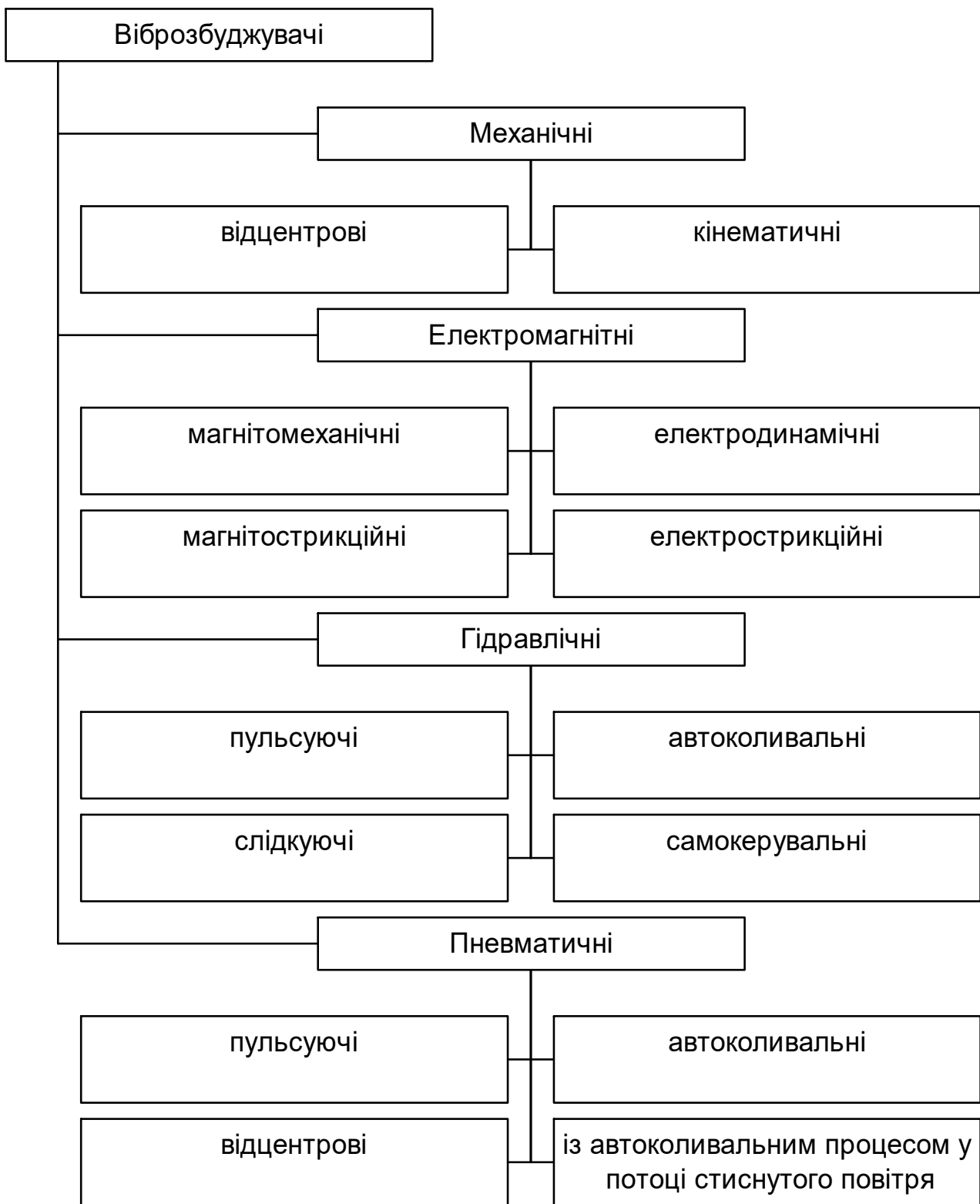


Рисунок 2.1. – Класифікація вібробуджувачів

До основних типів пневматичних вібробуджувачів можна віднести пульсуючі, автоколивні, відцентрові вібробуджувачі із частковим автоколивним процесом. Пульсуючі вібробуджувачі перетворюють постійний тиск у магістралі у пульсуючий з метою реалізації коливного руху робочих органів. Такі машини

використовують при низьких частотах (до 15 Гц) та значних амплітудах (до 20...30 мм) коливань, що створює значні величини силових параметрів вібрації.

В автоколивних віброзбуджувачах керування тиском регулюється переміщенням або робочих органів, або рухомої частини силового вузла. Дані машини застосовуються при частотах 15...60 Гц для створення значних величин амплітуди коливань та вимушуючої сили або моменту.

У відцентрових віброзбуджувачах потік повітря спрямовується на поверхню рухомої частини бігунка (ротора), який переміщується по замкненій траєкторії, та здійснює коливальний рух виконавчих органів машини. Найбільш доцільно використовувати ці машини при частотах 20...400 Гц.

Для віброзбуджувачів із частковим автоколивним процесом характерне створення автоколивань у потоці стиснутого повітря, що зумовлює вібрацію поршня. Ці машини використовуються для забезпечення високих частот (до 2000 Гц) при невеликих амплітудах коливань (до 0,2 мм). Основні робочі параметри пневматичних віброзбуджувачів регулюються зміною об'єму камер-акумуляторів, зазором між поршнем та корпусом, тиском стиснутого повітря. Дані машини відзначаються можливістю роботи у вибухонебезпечних умовах, простотою регулювання амплітуди та частоти коливань. Аналіз розглянутих вище машин вказує на реалізацію в них широкого спектру як кінематичних, так і силових параметрів вібрації.

Водночас, вузька спеціалізація окремих типів пневматичних віброзбуджувачів, можливість відносної вібрації корпуса та поршня машини внаслідок нерівномірності протікання стиснутого повітря та інші недоліки обмежують технологічне використання даних машин.

Серед відомих типів віброзбуджувачів найбільш широке технологічне використання набули механічні віброзбуджувачі, серед яких відзначається відцентрові та кінематичні (рисунки 2.2).

При експлуатації відцентрових віброзбуджувачів змушуюча сила викликається коливальним або обертальним рухом спеціального інерційного елемента. При цьому реалізується силовий або динамічний спосіб збудження

коливань. Залежно від способу здійснення руху інерційного елемента виділяють дебалансні та планетарні відцентрові віброзбуджувачі.

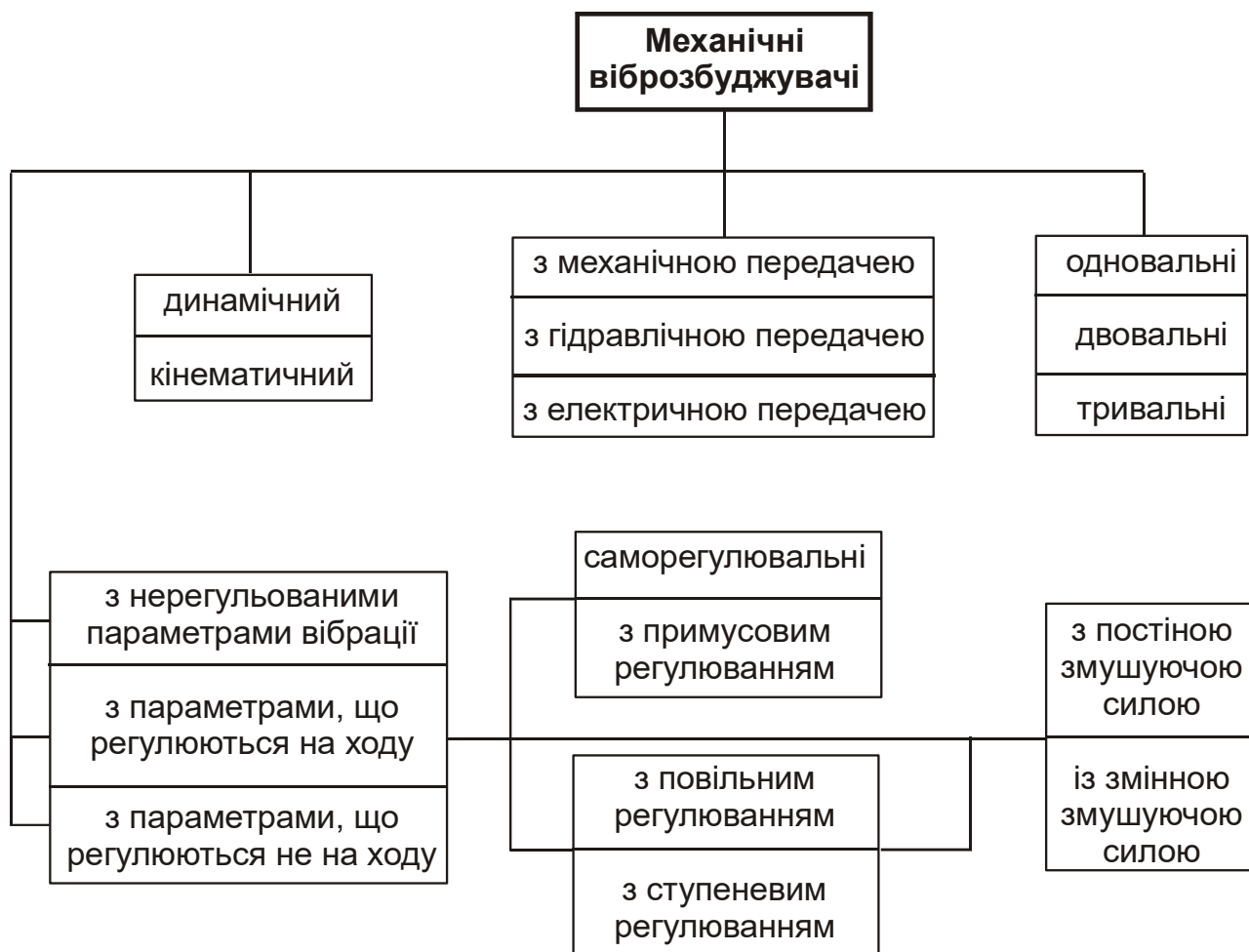


Рисунок 2.2 – Основні різновиди механічних віброзбуджувачів

Інерційний одномасний віброзбуджувач типу дебаланс містить інерційний елемент або дебаланс, що обертається з постійною кутовою швидкістю на валу в підшипниках опорної частини, яка жорстко кріпиться до робочих органів вібромашини. При обертанні такого інерційного елемента створюється постійна за величиною відцентрова сила, яка безперервно змінює свій напрям. Дебаланс з приводом та опорною частиною складає вібромасу. Характер руху вібромаси в загальному випадку визначається характером її підвіски до нерухомої частини машини, а також фізико-механічними властивостями середовища, з якою взаємодіють робочі органи машини.

Найбільш поширеною схемою інерційного віброприводу є двомасна дебалансна яка відрізняється простотою регулювання параметрів вібрації,

можливістю варіації їх величини та траєкторії. Обертання дебалансу, яке здійснюється зовнішнім приводом, призводить до створення коливального режиму руху робочих органів машини.

Залежно від способу передачі обертового моменту до інерційного елемента виділяють механічний привід через зубчасту, ланцюгову, пасову передачу або гнучкий вал; гідравлічний – через гідромufту; електричний – через індукційну мufту. Дебалансні віброприводи можуть бути простими або маятниковими. Деякі типи дебалансів віброприводів мають прикріплені до торця або безпосередньо вмонтовані до корпусу двигун. В якості останнього використовуються електродвигуни, водяні, парові або газові турбіни, ротаційні гідравлічні чи пневмодвигуни, біжуче електричне поле та інші механізми.

До переваг дебалансних віброприводів можна віднести порівняно просту конструкцію та низьку вартість; можливість досягти високого відношення амплітуди змушуючої сили до маси механізму (більш як 1000 Н/кг); широкий діапазон регулювання параметрів вібрації (0,01...1000 Гц – по частоті); простота синхронізації роботи декількох віброприводів на одному виконавчому органі; зручність повільного або ступеневого регулювання частоти та амплітуди вібрації; низька чутливість до зміни зовнішніх силових факторів та можливість стійкої роботи при наявності значних внутрішніх силових факторів та можливість стійкої роботи при наявності значних внутрішніх опорів. Серед недоліків означених механізмів відзначають порівняно невеликий ресурс внаслідок значних навантажень на опорні вузли, відносно висока залежність від якості виготовлення, збирання та правильності експлуатації; складність незалежного регулювання частоти та амплітуди силових параметрів вібрації.

Примусові віброприводи надають робочим або виконавчим органам вібромашини кінематично заданий рух. Це забезпечує підтримання постійної амплітуди коливань робочих органів у всьому діапазоні частот вібрації. Однак для примусового віброприводу характерні утруднений запуск та значні енергозатрати на привід порівняно із іншими кінематичними віброприводами. Залежно від

особливостей конструктивного виконання подібних механізмів розрізняють кривошипношатунний та кулачковий вібробудувачі.

Для ексцентрикових вібробудувачів із пружними елементами характер руху робочих органів визначається не тільки структурними параметрами механізму, але і масами, жорсткістю та особливостями конструктивного виконання пружних зв'язків.

Ексцентрикові приводи найбільш раціонально використовувати у низькочастотних коливних системах, де менші динамічні навантаження на опорні вузли, та є можливість роботи з деяким відстроюванням від власної частоти коливань системи, що забезпечує більшу стійкість механізму. У разі високочастотного режиму доцільно застосовувати ексцентрикові приводи лише в зрівноважених коливних системах.

1.6 Висновки та постановка задач досліджень

В результаті аналізу процесу сепарування сипучої сільськогосподарської продукції та технологічного процесу виготовлення гречаної крупи на ВАТ “Вінницький завод хлібопродуктів” виявлено що однією із найбільш відповідальних, малопродуктивних та енергомістких технологічних операцій є операції сортування зерна на фракції та сепарації, внаслідок чого вихідний продукт після сепарації містить багато домішок (до 5 %), що погано впливає на якість кінцевого продукту, окрім того даний лотковий сепаратор важко збалансувати, тому під час роботи він створює великий рівень шуму а на будівельні конструкції та навколишнє обладнання передаються значні вібрації. Ще одним недоліком даного вібросепаратора є його доволі висока енергоємність, що пояснюється наявністю великої кількості підшипникових вузлів та поганою збалансованістю вібротоків. Тому доцільно розробити вібросепаратор, який мав би простішу і надійнішу конструкцію, кращу якість сепарації, кращу збалансованість та меншу енергоємність. Усім цим вимогам найкраще відповідає конструкція багато

фракційного вібросепаратора із вертикальним складеним привідним валом та спіральними вібротками [28]. У даному вібросепараторі використовуються вібратори само балансного типу, що практично усуває передачу вібрації на будівельні конструкції та навколишнє обладнання вібрацій, а процес сепарації має меншу енергоємність та вищу якість.

1. Проведено аналіз основних зерноочисних машин що застосовуються на підприємствах і здійснюють переробку зернових сумішей (плоско-решітні, відцентрові і вібровідцентрові зерноочисні сепаратори). Встановлено, що вібровідцентрові сепаратори за своїми технологічними показниками є найбільш ефективними для очищення зернових сумішей.

2. Зроблено аналіз можливих приводів коливного руху для зерноочисних установок, з якого видно, що перспективним напрямком розвитку електроприводу коливного руху є створення електромеханічних систем на базі лінійних асинхронних двигунів, відмінною рисою яких є використання в якості ротора робочого органу машини.

3. Разом з тим коливний рух робочого органу у вертикальній площині на базі ЛАД з визначенням приводних характеристик і технологічних параметрів приводу недостатньо досліджені, що стримує подальший розвиток даного напрямку. У зв'язку з цим, дослідження основних характеристик з визначенням параметрів приводу робочого органу у вертикальній площині на базі плоского ЛАД є актуальним для підвищення ефективності ВВС.

4. Перспективним напрямком удосконалення та підвищення техніко-економічних показників вібраційного приводу ВВС є застосування плоского ЛАД, яке дозволяє забезпечити конструктивно-технологічну простоту приводу, посприяє збільшенню довговічності машини і значно зменшує експлуатаційні витрати. Дає можливість легко здійснювати пуск навіть під навантаженням і плавно регулювати амплітуду коливань робочого органу шляхом імпульсного управління [2].

Мета дослідження. Розробка вертикального коливного електроприводу робочого органу на базі плоского лінійного асинхронного електродвигуна з

обґрунтуванням його параметрів для підвищення ефективності вібровідцентрового сепаратора зерна.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести дослідження технологічних характеристик ВВС і розробити спосіб збудження коливань робочого органу у вертикальній площині за допомогою плоского ЛАД.

2. Визначити конструктивні і технологічні параметри вертикального коливного електроприводу робочого органу ВВС на базі плоского ЛАД і встановити їх взаємозв'язок.

3. Дослідити вплив параметрів розробленого коливного електроприводу на базі плоского ЛАД на енергетичні, економічні та експлуатаційні показники ВВС.

ГЛАВА 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА

2.1 Технологічні характеристики вібровідцентрового сепаратора

2.1.1 Застосування вібрації при очищенні і сортуванні насіння

Ефективність сепарування зернових сумішей за сучасними технологічними схемами, які використовують відомі зерноочисні машини, не завжди в повній мірі задовольняє технологічним вимогам [7; 22]. Отримання насінневого зерна супроводжується значними втратами зерен основної культури і є досить тривалою і дорогою операцією [27; 17].

Це пов'язано з наявністю в зерновій масі насіння важко-відокремлюваних бур'янів, які мають такі ж або близькі фізико-механічні властивості (довжина, ширина, насипна щільність) насіння зернових культур. Наприклад, щоб отримати якісний насінневий матеріал 1 класу рису, його до 3-4 разів пропускають через існуючі плоско-решітні машини, що в значній мірі підвищує травмування насіння і знижує їх схожість на 78% [13].

Проаналізувавши літературні джерела видно, що застосування вібраційної технології при підготовці насіння є найбільш перспективним [21; 22].

Можливості даної технології і область її застосування досить широка. Численні дослідження вібраційних зерноочисних машин показали, основними параметрами, які визначають ефективність розділу зернових сумішей і продуктивність установки в цілому, є амплітуда, частота коливань і кутова швидкість обертання робочого органу [21]. Причому, для забезпечення найбільш ефективного процесу поділу зернової суміші повинно забезпечуватися плавне регулювання амплітуди і частоти коливань залежно від виду оброблюваної культури [13].

2.1.2 Вплив параметрів робочого органу на технологічну характеристику

За інших постійних технологічних параметрів (амплітуди і частоти коливань), зі збільшенням кутової швидкості решета зростає відцентрова сила, яка притискає зернову суміш до поверхні решіт. Це в свою чергу призводить до ущільнення шару зернової суміші, збільшується сила тертя зернових частинок про решето, яка перешкоджає їх руху, середня швидкість руху і переміщення частинок вздовж решета значно знижуються [19].

Варто враховувати, що вищевказані фактори підвищують травмування зернових частинок, і негативно позначаються на якості сепарування, так як відцентрова сила призводить до ущільнення шару зернової суміші, і сміттеві частки, не встигаючи досягнути поверхні решета, йдуть сходом.

Зі збільшенням амплітуди коливань решіт при незмінних значеннях параметрів частоти коливань і кутової швидкості обертання, зростає переносна сила інерції і прискорення робочого органу, отже, збільшуються середня швидкість відносного руху і пробіг зернових частинок уздовж решіт за період коливань [12].

Збільшення частоти коливань робочого органу, при інших незмінних значеннях технологічних параметрів (амплітуда коливань, кутова швидкість обертання) збільшує переносну силу інерції. При цьому значно збільшується середня швидкість пошарового руху зернових частинок вздовж решета [27].

Слід зазначити, що за інших постійних параметрів, вплив частоти коливань решета на середню швидкість руху зернових частинок тим вищий, чим менший розмір зернової частки. Чим більша зернова частка, тим більший вплив на її середню швидкість створює збільшення амплітуди коливань [27; 30].

2.1.3 Лінійний асинхронний електропривод коливного руху

Відомо, що складність і висока вартість приводів коливного руху робочого органу ВВС знижує ефективність його застосування. Також, при розгляді

технологічної характеристики ВВС було виявлено, що основними технологічними параметрами, які забезпечують якість сепарування, є узгоджені один з одним значення амплітуди і частоти коливань робочого органу [13]. В існуючих конструкціях ВВС, регулювання амплітуди коливань робочого органу вимагає вимушеної зупинки обладнання, що знижує ефективність його роботи. Використання в приводі ВВС плоского ЛАД дозволить виключити зазначений недолік [1].

На рисунку 2.1 представлена кінематична схема лінійного електроприводу, який працює в імпульсному режимі, і періодично підключається до джерела живлення за допомогою блоку управління [1; 3].

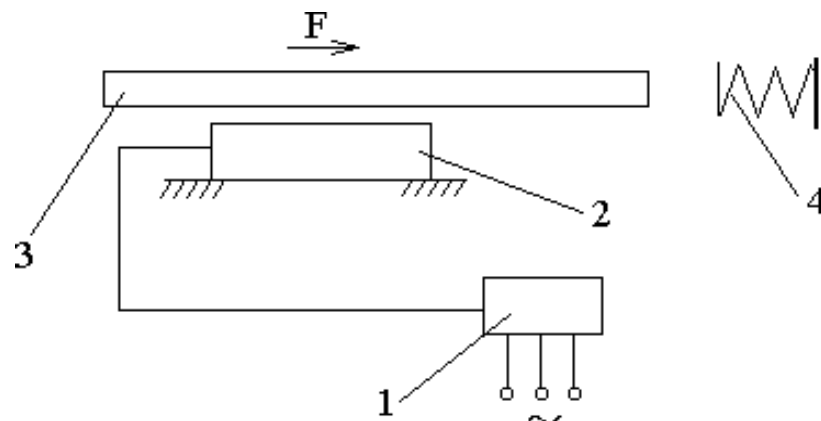


Рисунок 2.1 Кінематична схема лінійного електроприводу: 1 - блок управління, 2 - індуктор плоского ЛАД, 3 - ротор, 4 - пружний елемент.

Спільне використання ЛАД, пружного елемента та імпульсного управління на основі широтно-імпульсної модуляції в коливному приводі дозволить регулювати його основні параметри.

2.2 Вібровідцентровий сепаратор з лінійним електроприводом

На рисунку 2.2 представлена технологічна схема вібровідцентрового сепаратора на базі плоского ЛАД. Через вхідний патрубок 1 і дозатор зернова суміш надходить у верхню частину блоку - віялку 8, де повітряним потоком з неї видаляються легкі сміттєві домішки і пил [28; 29].

У середній частині блоку розміщується робочий орган 3, підпружинений відносно основи за допомогою пружних елементів 9. Робочий орган представляє собою трирівневий ситовий циліндричний барабан, який від двох приводних двигунів отримує обертовий і коливний рухи.

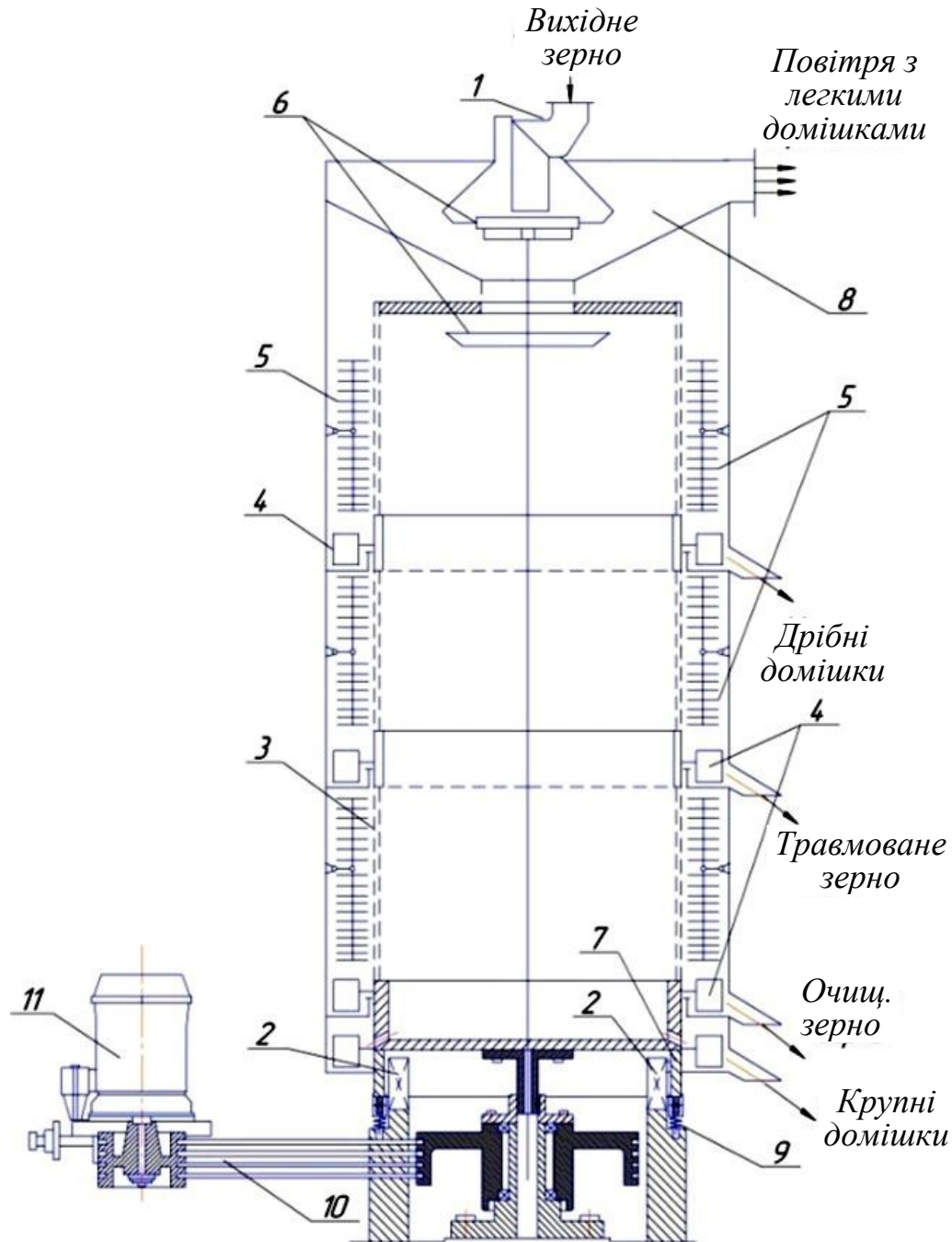


Рисунок 2.2 Технологічна схема ВВС з плоским ЛАД: 1 - вхідний патрубок, 2 - індуктори плоского ЛАД, 3 - робочий орган, 4 - лопатки, 5 - дискові очисники, 6 - розкидачі, 7 - вторинний елемент (кільце), 8 - віялка, 9 - пружні елементи, 10 - клинопасова передача, 11 - електродвигун

Обертний рух робочого органу передається за допомогою клинових пасів 10, від електродвигуна обертального руху 11. Коливний рух робочого органу в вертикальній площині реалізується за допомогою плоского ЛАД, що складається з декількох індукторів 2, і вторинного елемента 7, що представляє собою кільце [23].

Зернова маса за допомогою відцентрової сили з розкидачі 6 надходить на внутрішню поверхню решіт і переміщається вниз під власною вагою. Під впливом коливного руху решіт відбувається інтенсивне сепарування зернового матеріалу. На першому ярусі решіт відокремлюються дрібні домішки, на другому - подрібнене і біте зерно, на третьому ярусі отримують очищене зерно. Найбільші домішки, які не попали в прохід, йдуть сходом решета.

Лопатки 4 переміщують одержувані фракції, що потрапили в прохід, у вихідні зерно-проводи. Для очищення решіт від застряглих частинок зерна і домішок на кожному з трьох ярусів встановлюються дискові очисники циліндричної форми 5 [29].

2.3 Кінематичні характеристики вібровідцентрового сепаратора з лінійним електроприводом

Кінематична характеристика дає можливість простежити послідовність передачі руху від двигуна до робочих органів машини. Зазвичай кінематична характеристика зображується у вигляді кінематичної схеми [11].

Кінематична характеристика ВВС з плоским ЛАД приведена на рисунку 2.3. Електропривод коливного руху робочого органу у вертикальній площині складається з декількох індукторів 2 плоского ЛАД, які жорстко з'єднані з рамою, і рухомого елемента (кільця) 3, яке для отримання енергоефективного коливного руху підпружинене щодо рами пружними елементами 4 з роликами 5. Передача обертального руху робочого органу від електродвигуна 1, здійснюється за допомогою шліцьового з'єднання 9 і веденого шківів 6, який за допомогою клинопасової передачі 8 отримує обертання від ведучого шківів 7 [23].

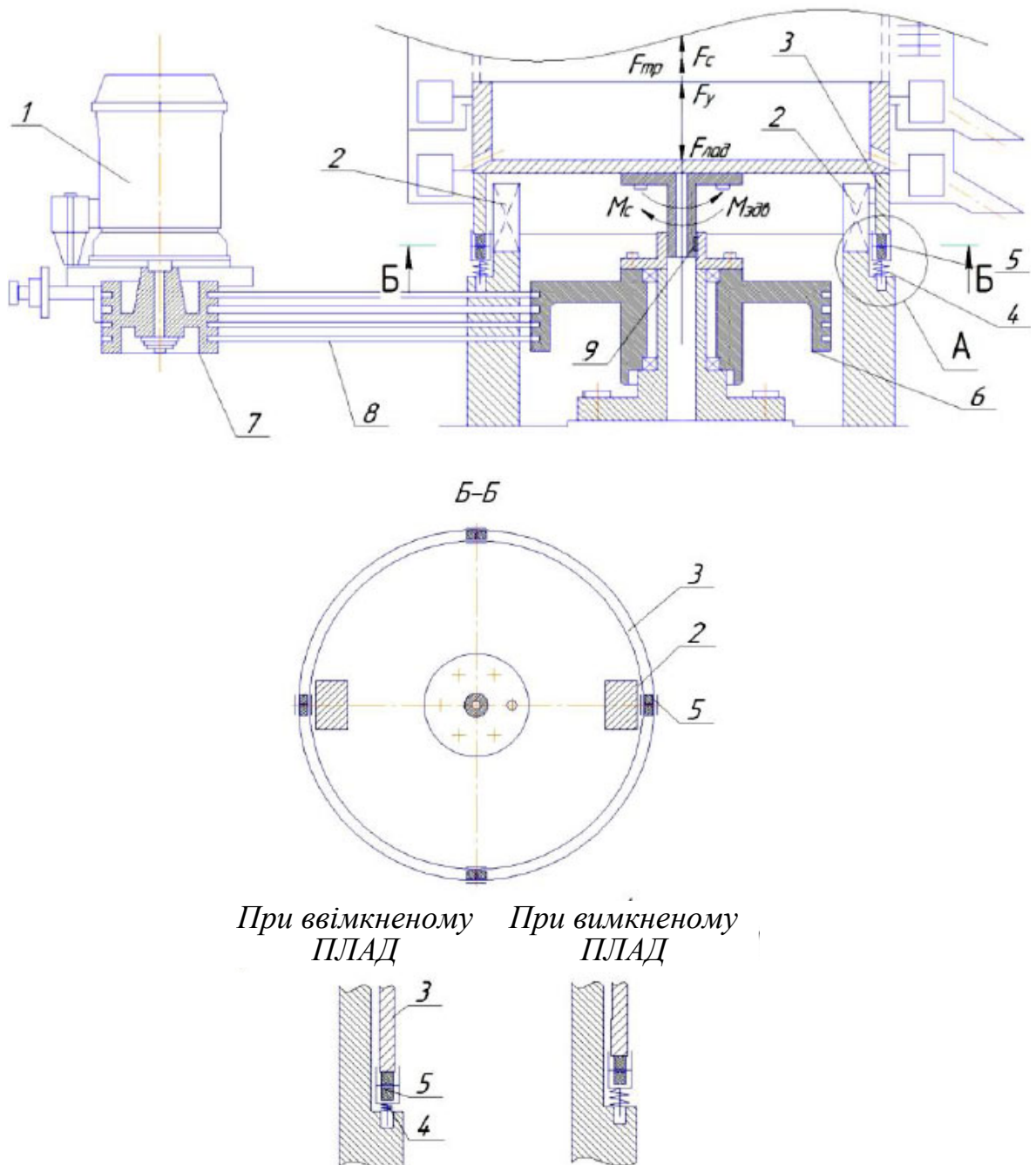


Рисунок 2.3 Кінематична схема приводів обертового і коливного руху ВВС з ПЛАД: 1 - електродвигун, 2 - індуктори плоского ЛАД, 3 - кільце (вторинний елемент), 4 - пружні елементи, 5 - ролики, 6,7 - шківи, 8 - клинопасова передача, 9 - шліцеве з'єднання.

У той час, коли блок управління подає на обмотки індукторів плоского ЛАД керуючий імпульсний сигнал, виникає тягове зусилля $F_{лад}$, під дією якого робочий орган починає рухатися вниз, стискаючи пружні елементи 4. Силі $F_{лад}$ протидіє сила тертя $F_{тр}$ в шліцевому з'єднанні, сила опору пружного елемента F_y , сила опору

поток зерна руху решета F_C . По закінченню часу подачі живлення, обмотки індуктора ЛАД відключаються від джерела живлення, робочий орган зупиняється і під дією потенційної енергії, накопиченої в пружних елементах повертається у вихідне положення. Після закінчення певного часу блок управління знову підключає індуктори ЛАД до мережі живлення, і далі коливний процес повторюється. В цей час асинхронний електродвигун обертового руху продовжує обертати робочий орган [33].

Швидкість обертання робочого органу навколо своєї осі для забезпечення найбільшої ефективності поділу становить близько 11-14 рад/с (120-140 об/хв.). З огляду на невелику частоту обертання робочого органу, вибирається асинхронний електродвигун з синхронною частотою обертання 1000 об/хв. [28; 29].

Частота коливань робочого органу у вертикальній площині може варіюватися в межах від 5 до 11 Гц, з амплітудою від 5 до 15 міліметрів. Блок управління, залежно від виду і засміченості зернової суміші, має можливість забезпечувати такі значення частоти і амплітуди коливань, за допомогою зміни частоти і тривалості підключення індукторів плоского ЛАД до джерела живлення, при яких досягається найбільш інтенсивне очищення [23].

Аналіз технологічної і кінематичної схеми дозволяє зробити висновок, що електропривод коливного руху на базі плоского ЛАД спільно з пружними елементами, залежно як від виду сільськогосподарської культури, так і параметрів вихідного матеріалу (подачі, крупності насіння, складу, вологості і т.д.) дозволить забезпечити плавне регулювання амплітуди і частоти коливань робочого органу, здійснити відносно легкий запуск в роботу під навантаженням і підвищить ефективність коливного приводу. Для подальшого дослідження основних приводних характеристик коливного приводу ВВС використовуємо математичну модель [26].

2.4 Математична модель вібровідцентрового сепаратора з лінійним електроприводом

Пропонований коливний привод повинен забезпечувати високу якість сепарування, низьку витрату енергії, найменші капітальні витрати на його пристрій, поточний і капітальний ремонт [20; 26]. Вибір раціонального електроприводу здійснюється за приводними характеристиками робочої машини: технологічною, кінематичною, механічною, інерційною, навантажувальною та енергетичною [11, 20].

Технологічна і кінематична характеристики були розглянуті раніше. Визначення взаємного впливу конструктивних і технологічних параметрів на решту приводних характеристик, буде здійснено шляхом теоретичного дослідження, за допомогою математичного моделювання [26]. Для дослідження математичної моделі по Т-подібній схемі заміщення [3] визначені параметри схеми заміщення плоского ЛАД: $R_l = 4,08$ Ом, $X_l = 0,145$ Ом, $X_2 = 0,9$ Ом, $X_m = 4,7$ Ом, $R_2 = 5,0$ Ом і полюсний поділ $\tau = 0,036$ м.

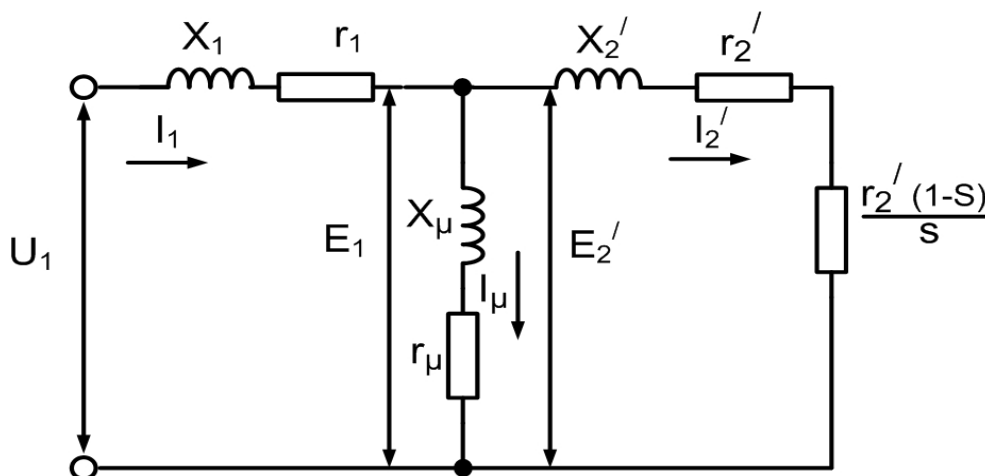


Рисунок 2.4 - Т-подібна схема заміщення плоского ЛАД

Математична модель реалізована в середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab Simulink [25] відповідно до рівнянь динаміки ВВС, які мають такий вигляд:

- для коливного руху робочого органу:

$$ma = F_{\text{ЛАД}} - F_C \quad (2.1)$$

- для обертового руху робочого органу:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{ДВ} - M_{С} \quad (2.2)$$

де m - маса рухомих елементів (робочого органу, вторинного елемента плоского ЛАД, зернової суміші), кг;

a - прискорення робочого органу, м/с²;

$F_{ЛАД}$ - сила, що розвивається плоским ЛАД, Н;

F - сила опору, що враховує силу тертя в шліцевому з'єднанні, Н; силу пружності, Н; силу опору потоку зернової суміші руху робочого органу, Н;

$J \frac{d\omega}{dt}$ - момент динамічний, кг•м²/с²;

$M_{ДВ}$ - момент асинхронного двигуна обертового руху, Н•м;

$M_{С}$ - момент опору, Н•м.

2.5 Опис приводних електродвигунів у математичній моделі за допомогою рівнянь Парка-Горєва

При математичному моделюванні електромеханічних процесів в асинхронних електродвигунах були прийняті загальноприйняті допущення [11; 28]. Однак, у випадку з лінійною асинхронною машиною, необхідно прийняти такі припущення, характерні для ЛАД [25]:

- не враховувати втрати в сталі (а саме на гістерезис і в обмотках);
- не враховувати явище крайового ефекту;
- передбачається, що немагнітний повітряний зазор є рівномірним;
- обмотки плоского ЛАД і системи напруги симетричні;
- температура електродвигуна постійна;
- вторинний елемент ЛАД по всій довжині індуктора займає активну зону;
- індуктивний опір розсіювання не залежить від положення вторинного елемента.

Для математичного дослідження, на основі схеми заміщення плоского ЛАД були складені диференціальні рівняння Горєва [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \phi_{x1}}{\partial t} = U_{x1} - \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_r}{X_S X_r - X_m} \phi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_m}{X_S X_r - X_m} \phi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \phi_{y1} \\ \frac{\partial \phi_{y1}}{\partial t} = U_{y1} - \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_r}{X_S X_r - X_m} \phi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_m}{X_S X_r - X_m} \phi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \phi_{x1} \\ \frac{\partial \phi_{x2}}{\partial t} = -\frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_S}{X_S X_r - X_m^2} \phi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_m}{X_S X_r - X_m^2} \phi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} (V_0 - V) \phi_{y1} , \\ \frac{\partial \phi_{y2}}{\partial t} = -\frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_S}{X_S X_r - X_m^2} \phi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_m}{X_S X_r - X_m^2} \phi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} (V_0 - V) \phi_{x2} \\ F_{\text{лад}} = \frac{3}{2} \frac{\pi V_0}{\tau} \frac{X_m}{X_S X_r - X_m^2} (\phi_{x2} \phi_{y1} - \phi_{x1} \phi_{y2}); \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{(F_{\text{лад}} - Fc)}{m} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

де U_{x1} , U_{y1} - напруга індуктора по осях ОХ, ОУ, В;

τ - полюсний поділ обмотки ЛАД;

$X_S = X_1 + X_m$, $X_r = X_2 + X_m$ - значення опорів, індуктора і вторинного елемента, що вводяться в модель, Ом;

R_1 , X_1 , R_2 , X_2 - відповідно активний і реактивний опори індуктора і вторинного елемента, приведені до обмотці індуктора, Ом;

X_m - опір взаємоіндукції між індуктором і вторинним елементом, Ом;

V_0 - синхронна швидкість плоского ЛАД, м / с;

ϕ_{x1} , ϕ_{y1} , ϕ_{x2} , ϕ_{y2} - потокозчеплення по осях ОХ, ОУ відповідно індуктора і вторинного елемента, Вб;

V - швидкість вторинного елемента плоского ЛАД, м/с.

Електромагнітні сили в ЛАД визначаються так само, як електромагнітний момент в машинах обертового руху, шляхом зміни енергії магнітного поля, яка сконцентрована в повітряному проміжку, коли вторинний елемент рухається на нескінченно малу відстань в напрямку тягової сили розвивається ЛАД в умовах сталості потокозчеплення [3]:

$$F_{\text{лад}} = \frac{3}{2} \frac{\pi V_0}{\tau} \frac{X_m}{X_S X_r - X_m^2} (\phi_{x2} \phi_{y1} - \phi_{x1} \phi_{y2}) \quad (2.4)$$

Складові струмів по осях X і Y визначаються через потокозчеплення з наступних виразів [3]:

$$\left. \begin{aligned} i_{x1} &= \left[\frac{X_r}{X_s \cdot X_r - X_m^2} \right] \cdot \phi_{x1} - \left[\frac{X_m}{X_s \cdot X_r - X_m^2} \right] \cdot \phi_{x2} \\ i_{y1} &= \left[\frac{X_r}{X_s \cdot X_r - X_m^2} \right] \cdot \phi_{y1} - \left[\frac{X_m}{X_s \cdot X_r - X_m^2} \right] \cdot \phi_{y2} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Для опису моменту, що розвивається асинхронним двигуном обертового руху також застосовується система диференціальних рівнянь Горєва, яка має вигляд [3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \phi'_{x1}}{\partial t} &= U_{x1} - \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_1 X'_r}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{x1} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_1 X'_m}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{x2} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \phi'_{y1} \\ \frac{\partial \phi'_{y1}}{\partial t} &= U_{y1} - \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_1 X'_r}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{y1} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_1 X'_m}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{y2} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \phi'_{x1} \\ \frac{\partial \phi'_{x2}}{\partial t} &= -\frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_2 X'_s}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{x2} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_2 X'_m}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{x1} + \frac{\pi}{\tau} (\omega_0 - \omega) \phi'_{y1} \\ \frac{\partial \phi'_{y2}}{\partial t} &= -\frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_2 X'_s}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{y2} + \frac{\pi}{\tau} \omega_0 \frac{R'_2 X'_m}{X'_s X'_r - X_m'^2} \phi'_{y1} + \frac{\pi}{\tau} (\omega_0 - \omega) \phi'_{x2} \\ M &= \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0}{\tau} \frac{X'_m}{X'_s X'_r - X_m'^2} (\phi'_{x2} \phi'_{y1} - \phi'_{x1} \phi'_{y2}); \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{(M - Mc)}{J} \end{aligned} \right. \quad (2.6)$$

де U_{x1} , U_{y1} - напруга статора по осях OX, OY, В;

τ - полюсний поділ обмотки асинхронного двигуна обертання, м;

$X'_s = X'_1 + X'_m$, $X'_r = X'_2 + X'_m$ - значення опорів, статора і ротора, що вводяться в модель, Ом;

R'_1 , X'_1 , R'_2 , X'_2 - відповідно активний і реактивний опори статора і ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

X'_m - опір взаємодії між статором і ротором, Ом;

ϕ'_{x1} , ϕ'_{y1} , ϕ'_{x2} , ϕ'_{y2} - потокозчеплення по осях OX, OY відповідно статора і ротора, Вб;

ω - кутова швидкість обертання ротора, рад / с;

ω_0 - кутова частота мережі живлення, рад / с;

M - момент, що розвивається двигуном, Н · м;

M_C - сумарний момент опору, Н · м;

J - момент інерції ротора АД, кг·м²/с².

Момент, що розвивається електродвигуном, визначається за формулою:

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \omega_0}{\tau} \cdot \frac{X'_m}{X'_s X'_r - X'^2_m} \cdot (\varphi'_{x2} \varphi'_{y1} - \varphi'_{x1} \varphi'_{y2}) \quad (2.7)$$

де τ - полюсний поділ обмотки асинхронного двигуна обертанья, м;

$X_s = X_1 + X_m$, $X_r = X_2 + X_m$ - значення опорів статора і ротора, що вводяться в модель, Ом;

X_m - опір взаємоіндукції між статором і ротором, Ом;

φ_{x1} , φ_{y1} , φ_{x2} , φ_{y2} - потокозчеплення по осях ОХ, ОУ відповідно статора і ротора, Вб;

ω - кутова швидкість обертанья ротора, рад / с;

ω_0 - кутова частота мережі живлення, рад / с;

J - момент інерції ротора асинхронного двигуна обертового руху, кг·м²/с².

Активна потужність ЛАД, споживана з мережі, Вт:

$$P_1 = I_{x1} U_{x1} + I_{y1} U_{y1}, \quad (2.8)$$

так як $U_{y1} = 0$, то:

$$P_1 = I_{x1} U_{x1}. \quad (2.9)$$

Реактивна потужність ЛАД, Вт:

$$Q_1 = I_{y1} U_{x1}. \quad (2.10)$$

Повна потужність ЛАД, Вт:

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}. \quad (2.11)$$

Електромагнітна потужність ЛАД в повітряному зазорі, Вт:

$$P_{el} = F_{ЛАД} V_0. \quad (2.12)$$

Механічна потужність на вторинному елементі, Вт:

$$P_{mex} = F_{ЛАД} V_{ve} \quad (2.13)$$

де $V_{\text{вe}}$ - швидкість робочого органу, м / с.

Потужність, що виділяється у вигляді тепла у вторинному елементі ЛАД,
Вт:

$$P_{\text{л}} = P_{\text{ел}} - P_{\text{мех}}. \quad (2.14)$$

Середня активна потужність, споживана двигуном з мережі, Вт:

$$P_{\text{1cp}} = \frac{\int_0^T P_1 dt}{T}, \quad (2.15)$$

де T - час моделювання, с.

Середня реактивна електрична потужність ЛАД, Вт:

$$Q_{\text{1cp}} = \frac{\int_0^T Q_1 dt}{T}. \quad (2.16)$$

Середня повна електрична потужність ЛАД, Вт:

$$S_{\text{cp}} = \sqrt{P_{\text{1cp}}^2 + Q_{\text{1cp}}^2}. \quad (2.17)$$

Середній коефіцієнт потужності ЛАД:

$$\cos\varphi = P_{\text{1cp}} / S_{\text{cp}}. \quad (2.18)$$

Розроблена математична модель в подальшому може бути використана в практичних розрахунках при проектуванні коливно-обертального електроприводу з застосуванням плоского ЛАД.

Диференціальні рівняння Парка-Горєва для ЛАД (2.3) в середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab Simulink [14] мають вигляд, представлений на рисунку 2.4, з урахуванням того, що:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x1} = A; \quad \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x2} = B; \quad \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R'_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x2} = C. \\ ; \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R'_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x1} = D; \quad \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0}{\tau} \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} = E \end{aligned} \quad (2.19)$$

У математичній моделі блоки "Goto" і "From" позначають «вхід» і «вихід» одного і того ж сигналу, що в свою чергу, при складанні блок-схем дозволяє

уникнути захаращення моделі з лініями зв'язку, зберігаючи читаність і компактність схеми. Параметри блоків задаються у вікнах їх налаштування, які відкриваються після подвійного кліка по них. Після того, як всі дані введені, починається симуляція з зазначенням часу початку та закінчення, кроку і інших параметрів настройки у вікні «Параметри моделювання» [14].

Результати математичного моделювання можна відобразити графічно. На малюнках 2.5, 2.6, наведені динамічні характеристики плоского ЛАД при його пуску вхолосту.

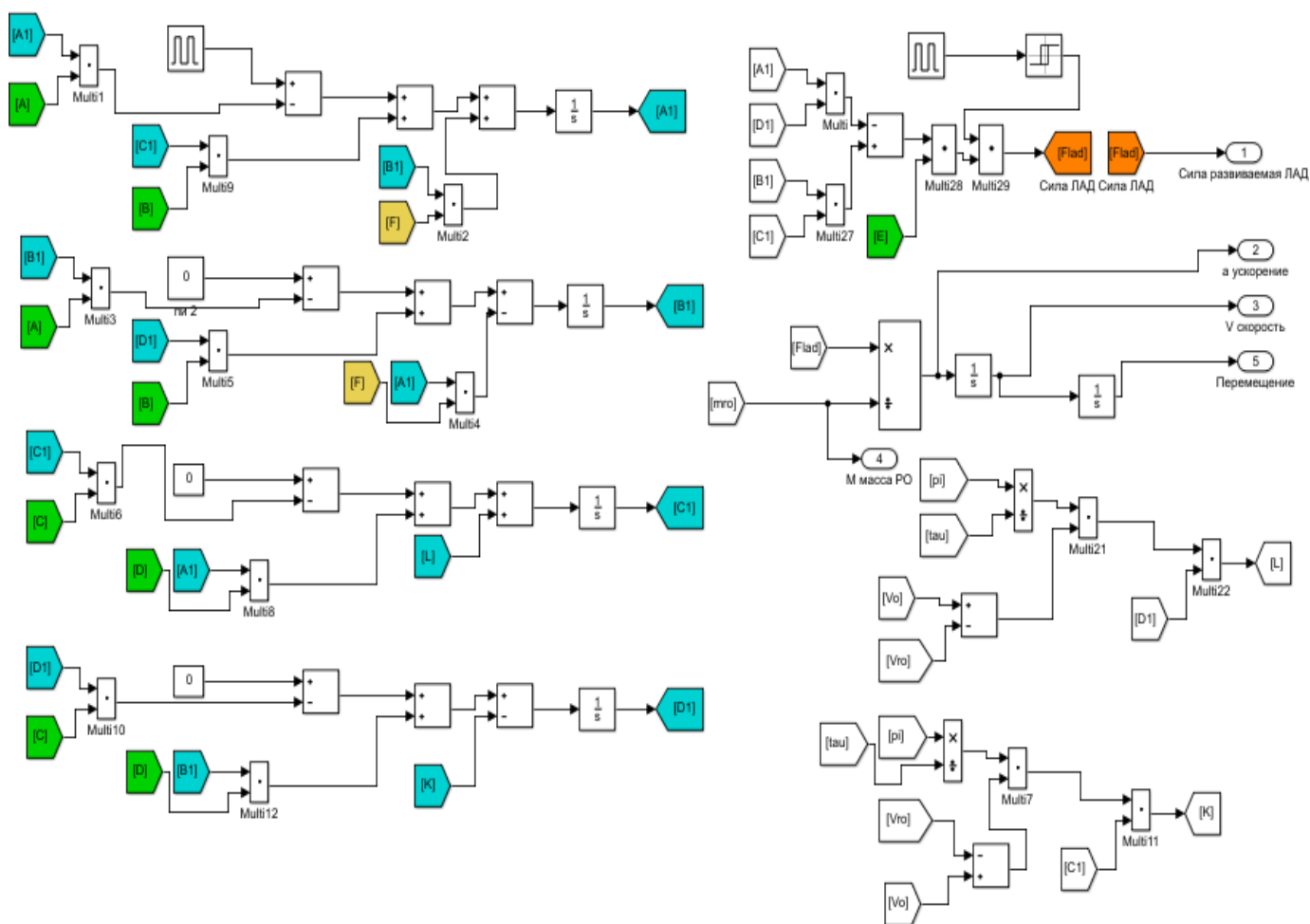


Рисунок 2.4 Вікно підсистеми «плоский ЛАД» математичної моделі середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab (Simulink)

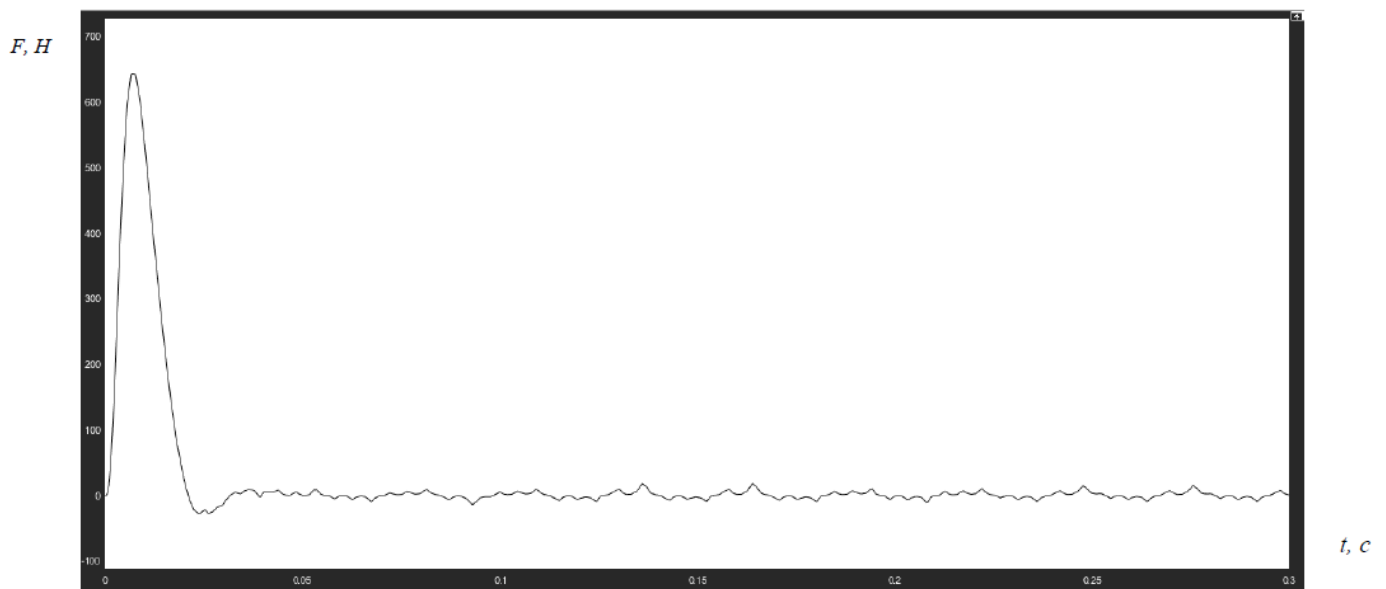


Рисунок 2.5 Сила, що розвивається плоским ЛАД при його пуску вхолосту



Рисунок 2.6 Швидкість, що розвивається ЛАД при його пуску вхолосту

2.6 Математична модель вібровідцентрового сепаратора з лінійним електроприводом у середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab

Математична модель описує роботу асинхронних двигунів обертового і коливного рухів, пружних елементів, рух робочого органу; імпульсне включення плоского ЛАД; опір потоку зернової суміші руху робочого органу.

Сила тертя в шліцевому з'єднанні F_T визначається за такою формулою [28]:

$$F_T = f \cdot m \cdot g, \quad (2.20)$$

де f - коефіцієнт тертя шліцьового з'єднання;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

В якості накопичувачів механічної енергії в коливному приводі застосовуються кручені циліндричні пружини, характеристики яких з досить високою точністю можна вважати лінійними. У зв'язку з цим, в математичній моделі пружні елементи реалізовані за лінійним законом Гука [3].

$$F_y = c \cdot x, \quad (2.21)$$

де c - коефіцієнт жорсткості пружних елементів;

x - деформація пружних елементів, м.

Опір потоку зернової суміші руху робочого органу визначається за формулою [19]:

$$F_{mp} = \frac{\pi \cdot \mu \cdot V \cdot R \cdot R_{cp} \cdot H}{R^2 - R_{cp}^2} \quad (2.22)$$

де μ - коефіцієнт динамічної в'язкості зернової суміші;

V - швидкість робочого органу, м / с;

H - висота решета, м;

R - радіус решета, м;

R_{cp} - радіус середній, м.

Значення середнього радіусу визначимо за формулою:

$$R_{cp} = \sqrt{R \cdot R_0} \quad (2.23)$$

де R_0 - радіус вільної поверхні (рисунок 2.8), м.

Коефіцієнт динамічної в'язкості зернової суміші [19]:

$$\mu = \frac{4 \cdot f \cdot p \cdot r_c^2}{\omega_{кол} \cdot \left(\left(-\frac{k}{M \cdot a} \right)^2 - \left(\frac{3}{\pi} \right)^2 \cdot \left(\frac{p}{\omega_{кол}^2 \cdot r_c \cdot \rho} \right)^2 \cdot f_c^2 \right)^{1/2}}, \quad (2.24)$$

де p - тиск зернової суміші, Па,

ρ - густина шару зернової суміші, кг/м³;

M - маса коливної системи, кг;

a - прискорення робочого органу, м/с²;

$\omega_{кол}$, ω - частота коливань в Гц, і кутова швидкість в рад/с обертання робочого органу відповідно;

r_c - радіус однієї зернової частинки, м;

f_c - коефіцієнт сухого тертя між зерновими частинками.

Момент тертя в роликах:

$$M_{mp} = N \cdot \frac{f_p}{R_p} \quad (2.25)$$

де N - притискаюча сила, Н;

f_p - коефіцієнт тертя кочення;

R_p - радіус ролика, м;

Опір решета потоку зернової суміші [19]:

$$M_c = f_0 \cdot \rho \cdot h \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \left(1 - \frac{n_0 \cdot S_0}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot H} \right) \quad (2.26)$$

де f_0 - динамічний коефіцієнт тертя зернової суміші про решето;

ρ - густина шару зернової суміші, кг/м³;

h - товщина шару зернової суміші, м;

H - висота решета, м;

n_0 - кількість отворів решета, шт;

S_0 - площа одного отвору решета, м².

Математична модель ВВС з плоским ЛАД має вигляд [26]:

$$\left\{ \begin{array}{l} ma = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot V_0}{\tau} \cdot \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} \cdot (\varphi_{x2} \varphi_{y1} - \varphi_{x1} \varphi_{y2}) - k \cdot x - f \cdot m \cdot g - \frac{\pi \cdot \mu \cdot V \cdot R \cdot R_c \cdot H}{R_c^2 - R^2} \\ J \frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \omega_0}{\tau'} \cdot \frac{X_m'}{X_s' X_r' - X_m'^2} \cdot (\varphi'_{x2} \varphi'_{y1} - \varphi'_{x1} \varphi'_{y2}) - N \cdot \frac{f_p}{R_p} - \left(f_0 \cdot \rho \cdot h \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \left(1 - \frac{n_0 \cdot S_0}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot H} \right) \right) \end{array} \right. \quad (2.27)$$

Широтно-імпульсне управління плоским ЛАД в моделі реалізовано за допомогою блоку «Pulse Generator» бібліотеки Simulink [14]. Даний блок дає можливість задавати частоту і тривалість імпульсу, імітуючи широтно-частотну імпульсну модуляцію. В даному випадку задається частота включення, яка буде відповідати частоті коливань робочого органу, а тривалість імпульсу дозволить здійснити регулювання амплітуди коливань робочого органу [16]. Її конфігураційний вікно цього блоку представлено на рисунку 2.7.

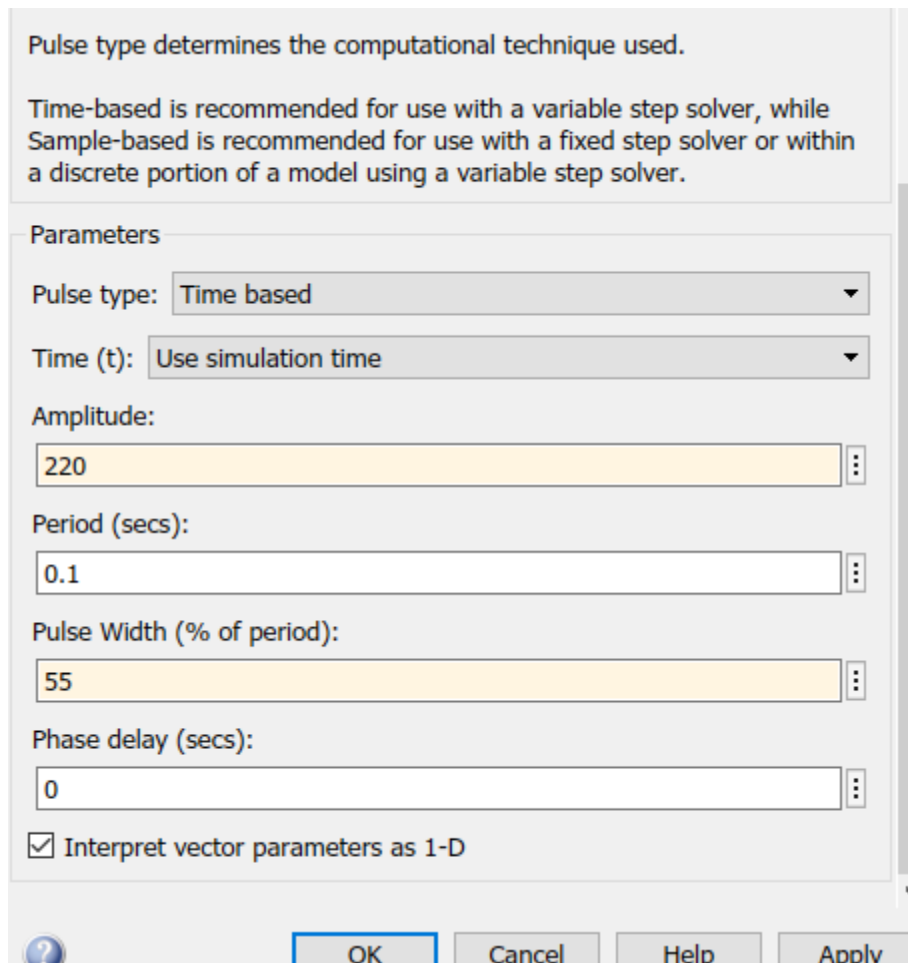


Рисунок 2.7 Налаштувальне вікно блоку «Pulse Generator»

Розвинена, з урахуванням нових технічних рішень [23], математична модель ВВС з плоским ЛАД являє собою сукупність декількох підсистем [16]. У підсистемах «ПЛАД» і «АТ» на підставі рівнянь Парка-Горева реалізовані двигуни коливного і обертового рухів відповідно. За допомогою підсистем «Сила пружності», «Сила тертя», «Сила опору потоку зернової суміші руху решета»,

описані основні сили опору, що перешкоджають руху робочого органу (рисунок 2.8).

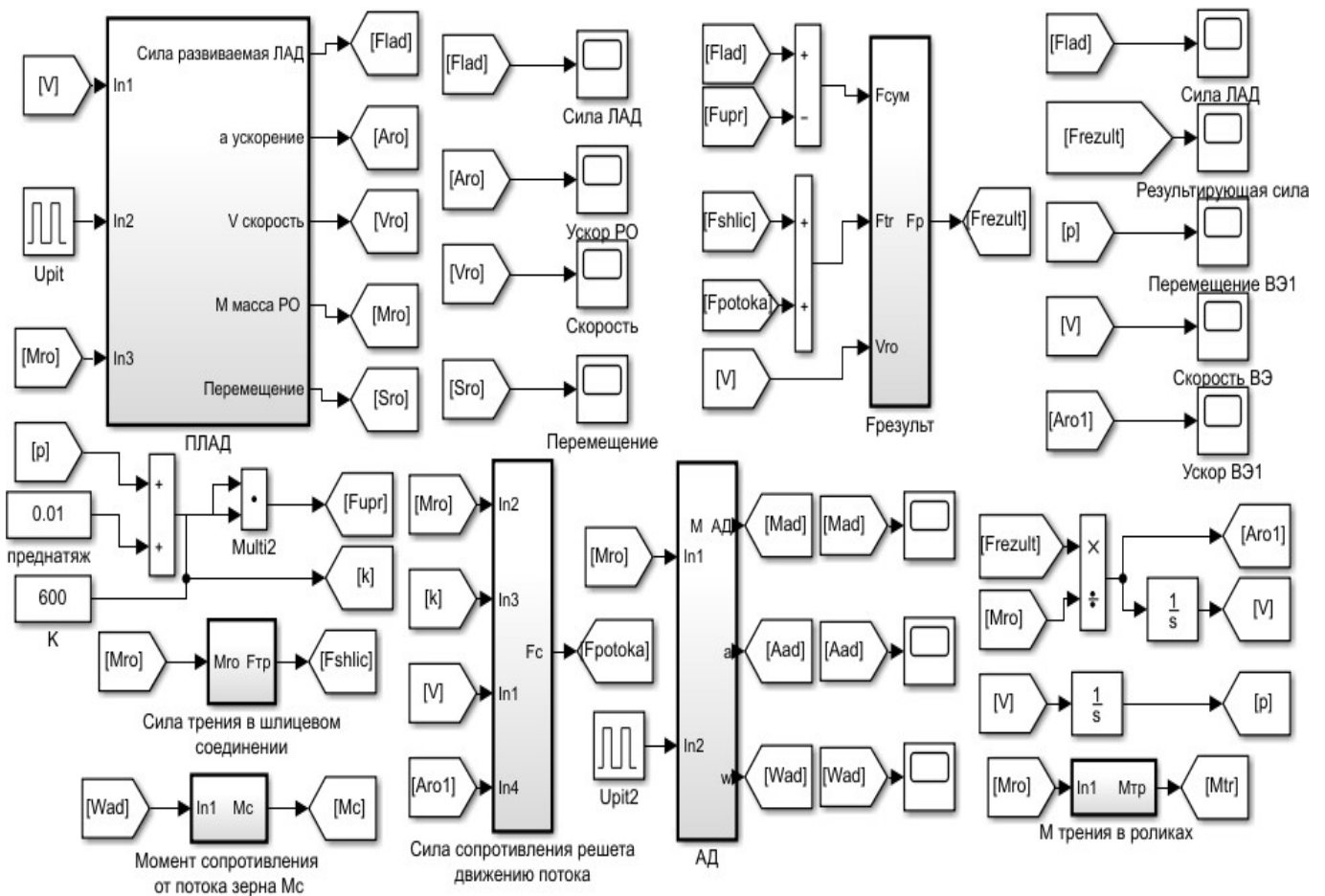


Рисунок 2.8 Основне вікно математичної моделі ВВС з плоским ЛАД в середовищі Matlab (Simulink)

На малюнках 2.9, 2.10 і 2.11 представлені підсистеми «Сила опору зернової суміші руху решета руху потоку», «Момент тертя в роликах», «Результиуюча сила».

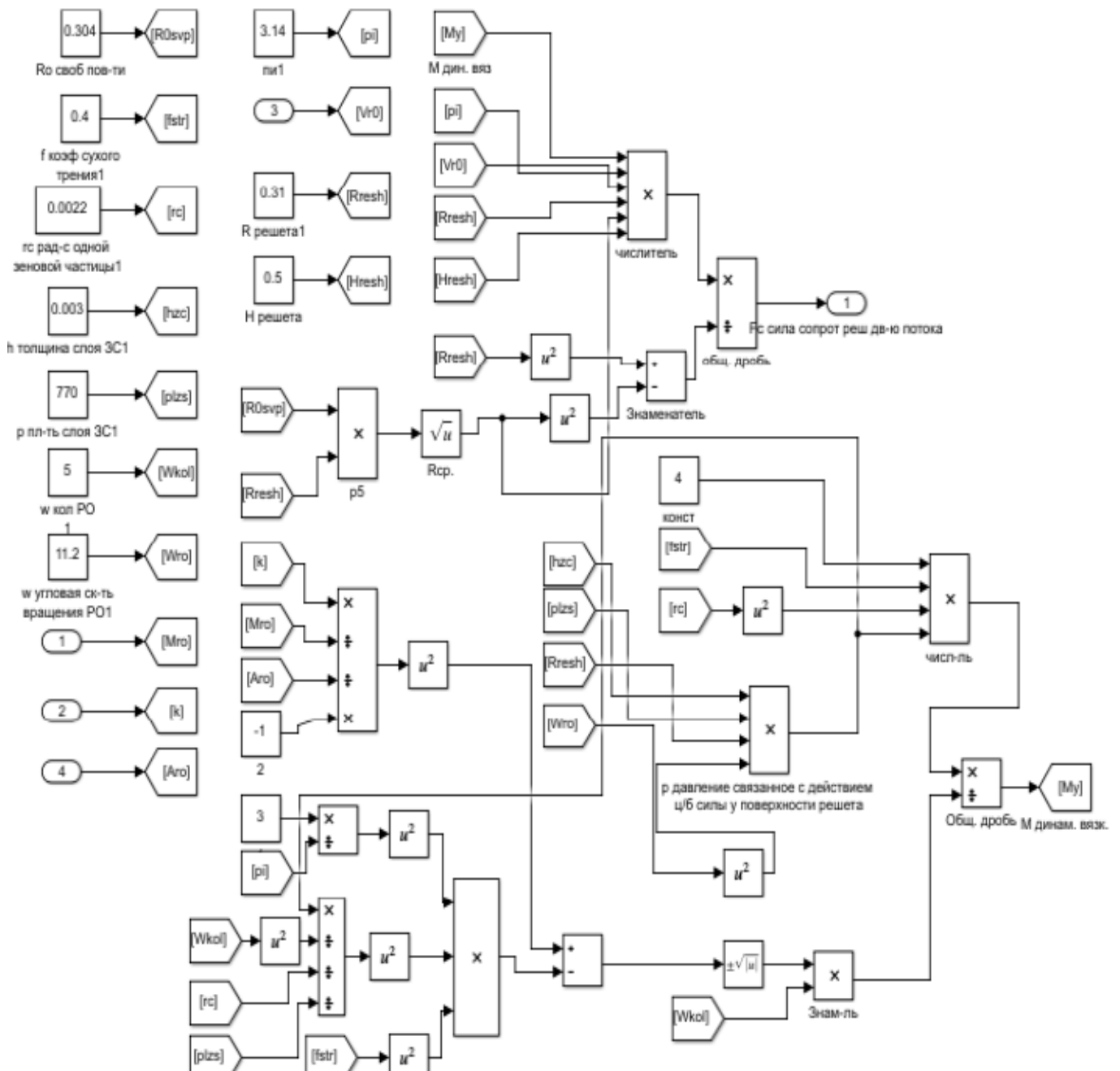


Рисунок 2.9 Сила опоры потока зерновой смеси руху рабочего органа

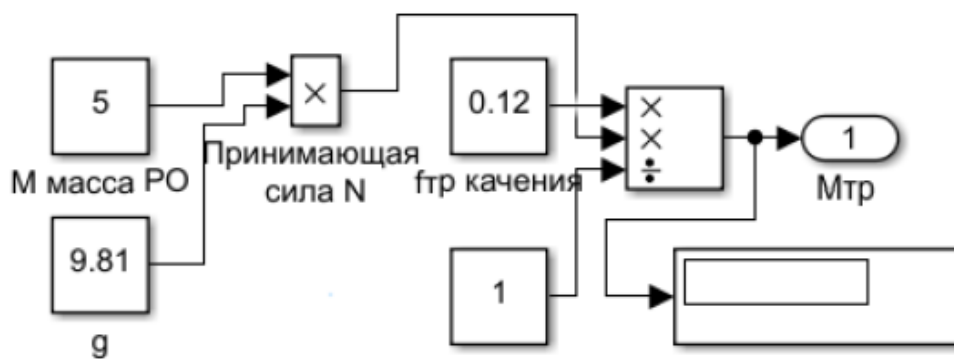


Рисунок 2.10 Момент тертя в роликах

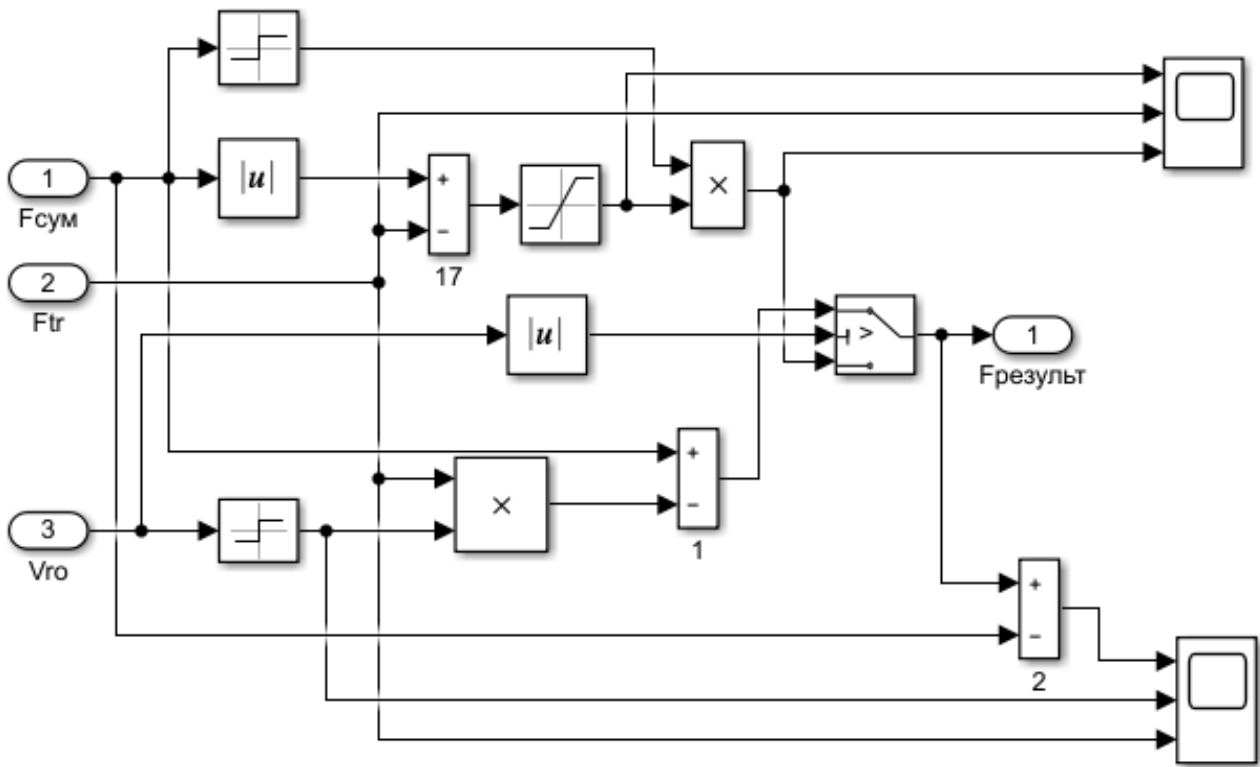


Рисунок 2.11 Результуюча сила

На рисунку 2.12 представлені деякі динамічні характеристики приводу, що працює в умовах сталих коливань.

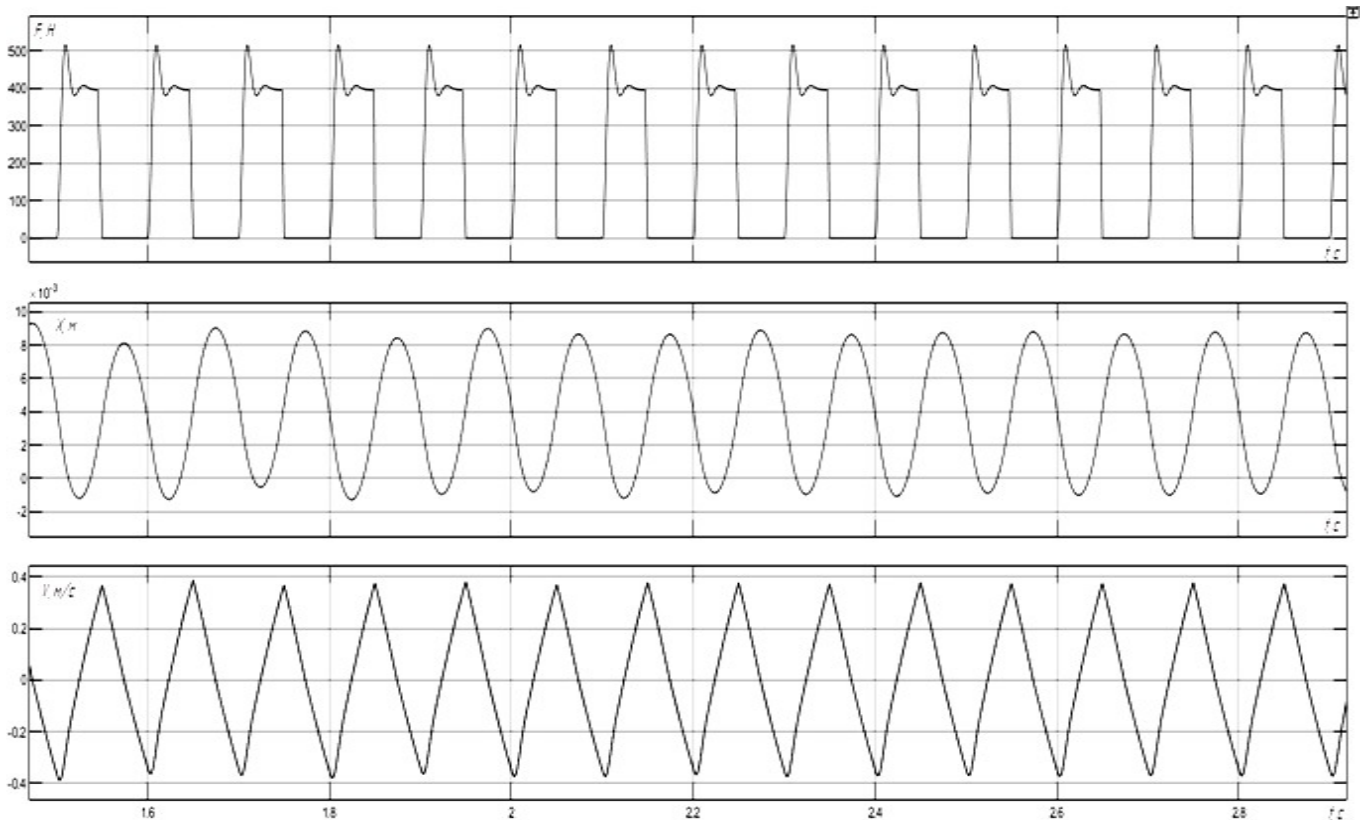


Рисунок 2.12 Динамічні залежності сили, що розвивається плоским ЛАД, переміщення і швидкості руху робочого органу від часу відповідно

Висновки:

1. Зроблено аналіз технологічної характеристики ВВС, розглянуто вплив амплітуди, частоти коливань і кутової швидкості обертання робочого органу на технологічну характеристику. Аналіз показав, що для підвищення ефективності роботи ВВС електропривод коливного руху потрібен регульований, що дозволяє забезпечити певне поєднання амплітуди і частоти коливань робочого органу без вимушеної зупинки установки, для цього в коливному приводі перспективно використовувати плоский лінійний асинхронний електродвигун.

2. Розглянуто кінематичну характеристика (схема) коливного електроприводу ВВС з плоским ЛАД, на підставі якої з урахуванням нових технічних рішень, отримані рівняння динаміки для обертального і для коливального руху робочого органу.

3. На підставі диференціальних рівнянь Парка-Горєва в середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab (Simulink) змодульовані приводні електродвигуни обертового і коливного руху, для запису рівнянь була обрана система координатних осей - O, X, Y.

4. Розвинена, з урахуванням нових технічних рішень, математична модель ВВС з плоским ЛАД дозволяє досліджувати взаємозв'язку в приводі з урахуванням електромеханічних перехідних процесів.

5. Отримано деякі динамічні характеристики приводу, який працює в умовах вимушених коливань.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА З ЛІНІЙНИМ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Дослідження основних приводних характеристик проводиться з метою визначення взаємного впливу конструктивних і технологічних параметрів приводу на електромеханічні процеси ЛАД.

Проектований коливний привод робочого органу ВВС у вертикальній площині на базі плоского ЛАД повинен бути функціональним і раціональним, тобто забезпечити певний закон коливань для виконання технологічного процесу і збереження якості сепарування зернової суміші, мати високу енергетичну ефективність, мінімальні витрати на монтаж, витрати на технічне обслуговування і капітальний ремонт [26].

Вибір раціонального електроприводу здійснюється за основними приводних характеристиках робочої машини: технологічної, кінематичної, механічної, амплітудно-частотної, навантажувальної та енергетичної [12; 26].

Дослідження приводних характеристик ВВС на базі плоского ЛАД здійснювалося за допомогою математичної моделі описаної у розділі 2, при наступних параметрах схеми заміщення плоского ЛАД: $R_1 = 4,08 \text{ Ом}$, $X_1 = 0,145 \text{ Ом}$, $X_2 = 0,9 \text{ Ом}$, $X_m = 4,7 \text{ Ом}$, $R_2 = 5,0 \text{ Ом}$, полюсний поділ $\tau = 0,036 \text{ м}$, $V_0 = 3,6 \text{ м/с}$. Модель [26] була розвинена і доповнена з урахуванням нового технічного рішення [33]. Так як в першу чергу, при математичному дослідженні ВВС з плоским ЛАД першорядне значення мали приводні характеристики, при моделюванні було прийнято допущення і розглянута спрощена модель руху зернової суміші. Технологічна і кінематична характеристики були розглянуті в попередньому розділі.

3.1 Механічні характеристики

Основою коливного приводу є лінійний асинхронний електродвигун, механічна характеристика якого є залежність тягового зусилля від швидкості робочої машини. Дана характеристика необхідна для аналізу перехідних процесів, і дозволяє визначити можливості пуску електроприводу і його стійкої роботи, а також для подальшої побудови навантажувальної діаграми приводу [20].

Задаючись різними значеннями фазної напруги U_ϕ , шляхом математичного моделювання, з використанням графічного редактора ХУ Graph [24] була отримана механічна характеристика ЛАД, яка представлена на рисунку 3.1.

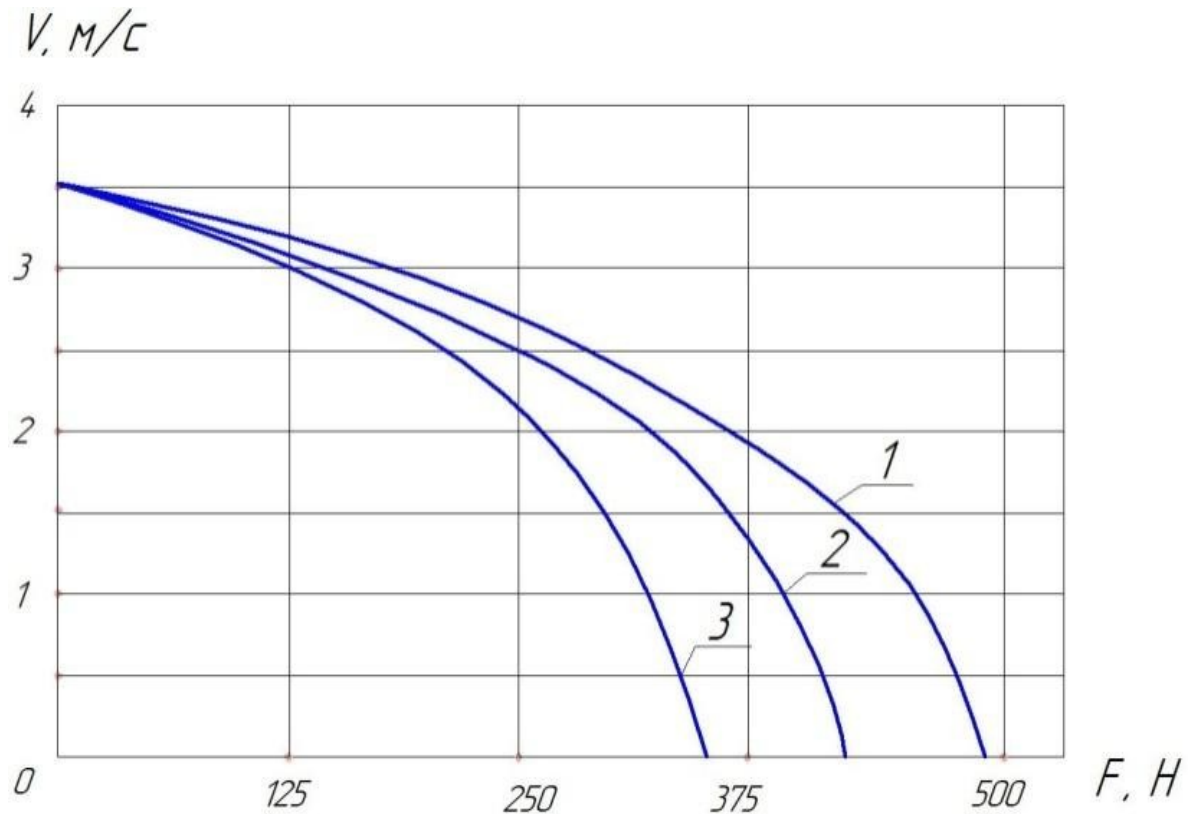


Рисунок 3.1 Механічна характеристика плоского ЛАД при різних значеннях фазної напруги: 1 - $U_\phi = 220$ В, 2 - $U_\phi = 210$ В, 3 - $U_\phi = 190$ В.

Як видно з малюнка 3.1, при зниженні напруги швидкість ідеального холостого ходу залишається постійною, а максимальне тягове зусилля двигуна зменшується приблизно пропорційно квадрату зниження напруги.

3.2 Навантажувальні характеристики

Навантажувальна характеристика (діаграма) коливного приводу ВВС в коливному приводі, визначається технологічною характеристикою, яка була розглянута раніше. Характеристика дозволяє визначити режим роботи електродвигуна в коливному приводі і являє собою залежність зусилля робочої машини від часу [30].

Як видно з навантажувальної діаграми, представленої на малюнках 3.2, 3.3, 3.4, навантаження на двигун змінне, з миттєвим наростанням сил опору. Залежності 3.2 - 3.4 при математичному моделюванні отримані при частоті коливань робочого органу рівного 10 Гц, для спрощених моделей руху зернової суміші, тобто для насінневого зерна розглянута одношарова модель, для продовольчого - двошарова, для зернової купи - тришарова [19].

На підставі отриманих характеристик можна зробити висновок, що плоский ЛАД в коливному приводі працює в режимі S1, зі змінним навантаженням.

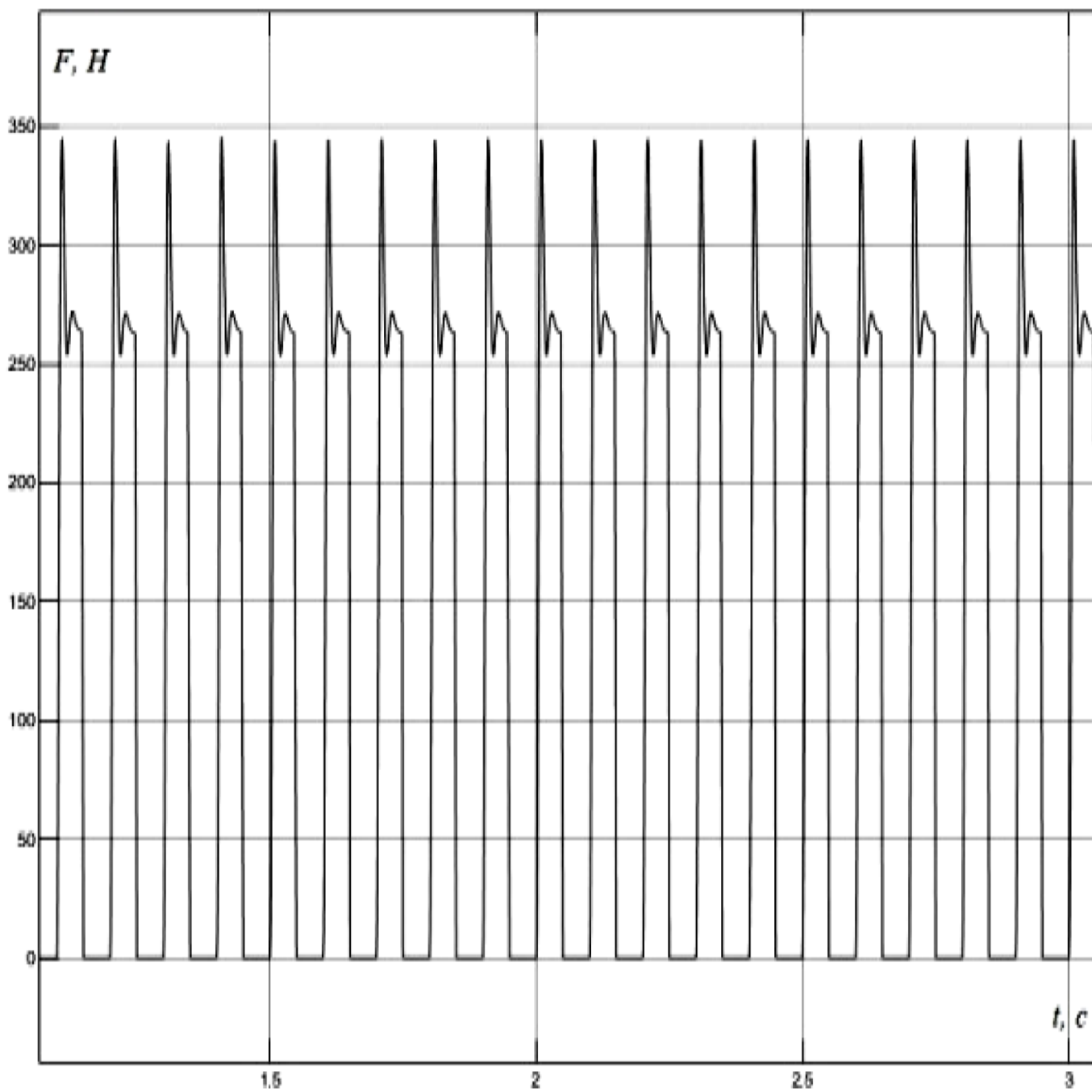


Рисунок 3.2 Залежність сили що розвивається плоским ЛАД від часу при обробці насінневого зерна

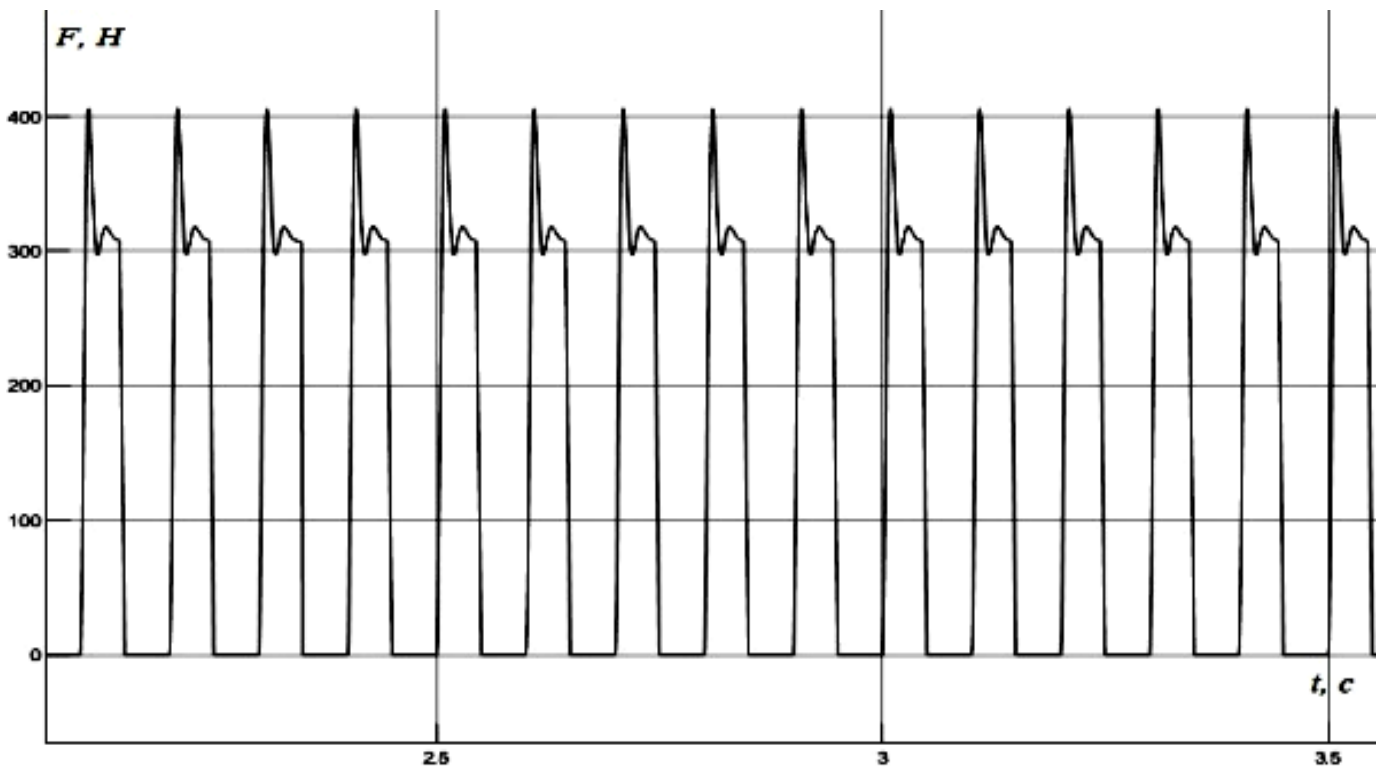


Рисунок 3.3 Залежність сили що розвивається плоским ЛАД від часу при обробці продовольчого зерна

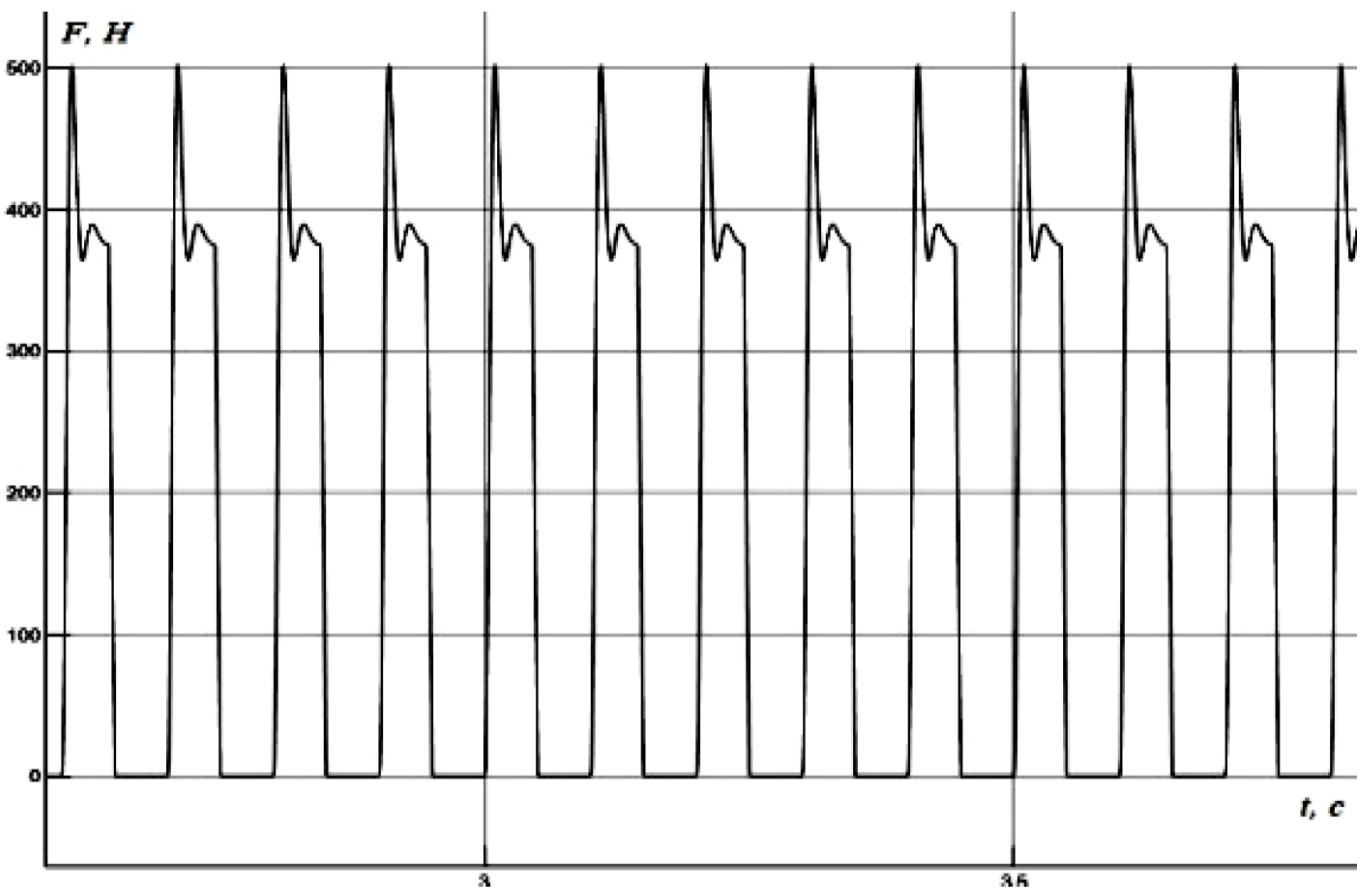


Рисунок 3.4 Залежність сили що розвивається плоским ЛАД від часу при обробці зернового вороху

3.3 Аналіз впливу конструктивних і режимних параметрів коливного приводу на амплітудно-частотні характеристики

Оптимальний кінематичний режим сепарації насіння конкретної зернової культури має своє певне поєднання узгоджених один з одним значень частоти і амплітуди коливань робочого органу [13]. Визначення амплітудно-частотних характеристик залежно від конструктивних і режимних параметрів приводу є важливою дослідницькою задачею, так як отримані залежності можуть бути використані при проектуванні конкретних конструкцій.

Дослідження амплітудно-частотних характеристик на математичній моделі [26] отримано при наступних параметрах: жорсткість пружних елементів $c = 4000 \dots 6000$ Н / м; маса робочого органу $m_1 = 15$ кг; маса зернової суміші $m_2 = 1,5 \dots 8,0$ кг.

Для якісного поділу насіння при зміні виду сільськогосподарської культури і її параметрів потрібно регулювати амплітуду $A_{кол}$ і частоту коливань $\omega_{кол}$ робочого органу ВВС. Ефективним способом регулювання цих параметрів є зміна жорсткості пружних елементів, частоти і тривалості підключення плоского ЛАД до джерела живлення [26].

Частота коливань робочого органу $\omega_{кол}$ дорівнює частоті включення індукторів плоского ЛАД $\omega_{вкл.}$, а амплітуда визначається частотою і тривалістю включення плоского ЛАД, з урахуванням жорсткості з пружних елементів і маси коливної системи $M = m_1 + m_2$.

На рисунку 3.5 а представлена залежність амплітуди коливань робочого органу від тривалості включення плоского ЛАД до мережі. Як видно з малюнка, в проміжку тривалості включення плоского ЛАД від 10 до 50 % амплітуда коливань робочого органу зростає, досягає свого максимального значення і починає спадати. Робота ВВС в режимі вимушених коливань дозволяє залежно від параметрів оброблюваної зернової суміші, регулювати параметри коливань робочого органу в потрібних межах.

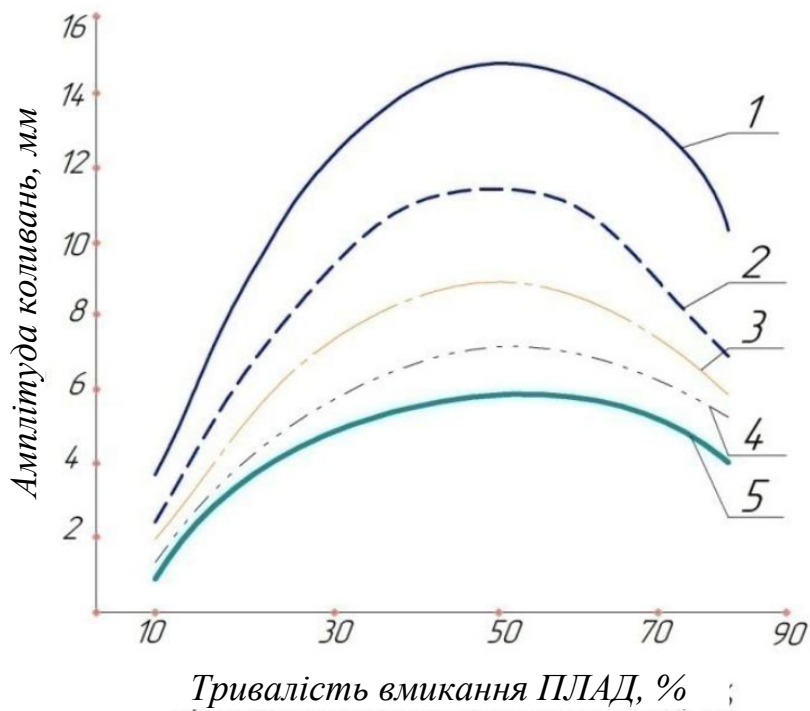


Рисунок 3.5 Залежність амплітуди коливань робочого органу від тривалості включення плоского ЛАД: 1 – при $\omega_{кол} = 7$ Гц, 2 – при $\omega_{кол} = 8$ Гц, 3 – при $\omega_{кол} = 9$ Гц, 4 – при $\omega_{кол} = 10$ Гц, 5 – при $\omega_{кол} = 11$ Гц.

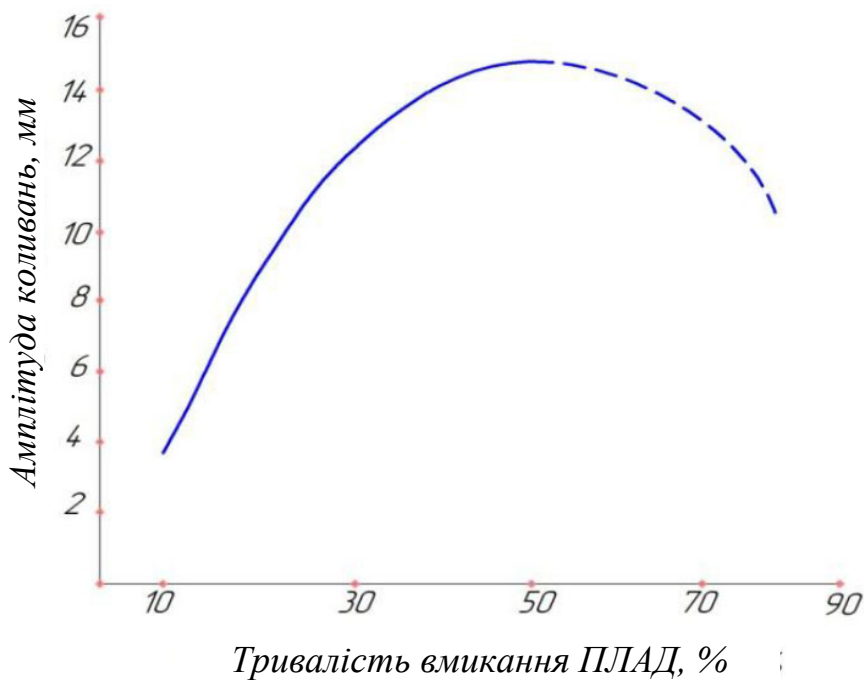


Рисунок 3.5 Залежність амплітуди коливань робочого органу від тривалості включення плоского ЛАД

Однак варто враховувати, що енергоефективний режим роботи коливного приводу при імпульсному управлінні буде здійснюватися при тривалості включення ЛАД не більше 50 % від періоду коливань (рисунок 3.5 б). Це пов'язано з тим, при

збільшенні тривалості включення понад 50 %, робочий орган не буде повертатися в початковий стан, і електродвигун в приводі буде працювати в режимі проти-вмикання.

На рисунку 3.6 представлені розрахункові амплітудно-частотні характеристики ВВС з плоским ЛАД при різній жорсткості пружних елементів. Тривалість включення плоского ЛАД становить 50 % від періоду коливань, частота включення 10 Гц.

Як видно з малюнків 3.5 і 3.6 зміна жорсткості пружних елементів спільно з імпульсним керуванням плоским ЛАД дозволяють, за рахунок зміни частоти і тривалості включення ЛАД, регулювати параметри коливань робочого органу в потрібних межах для забезпечення якості сепарації зерна [31].

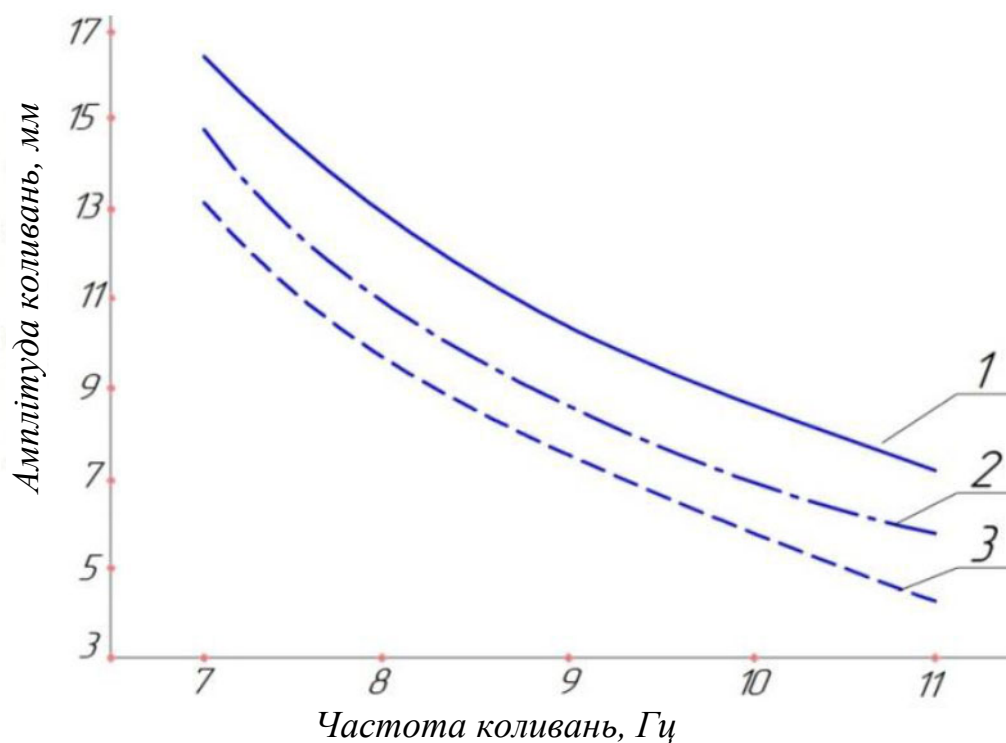


Рисунок 3.6 Амплітудно-частотні характеристики ВВС залежно від жорсткості пружного елемента: 1 - при $c = 6000$ Н/м, 2 - при $c = 5000$ Н/м, 3 - при $c = 4000$ Н / м.

Параметри коливань робочого органу, а значить електроприводу, в свою чергу залежать від маси коливної системи [19]. На рисунку 3.7 представлені графіки амплітудно-частотних характеристик ВВС при зміні маси зернової суміші на

решетах. Маса робочого органу складає $m_1 = 15$ кг, маса зернової суміші m_2 коливається від 4 до 6 кг.

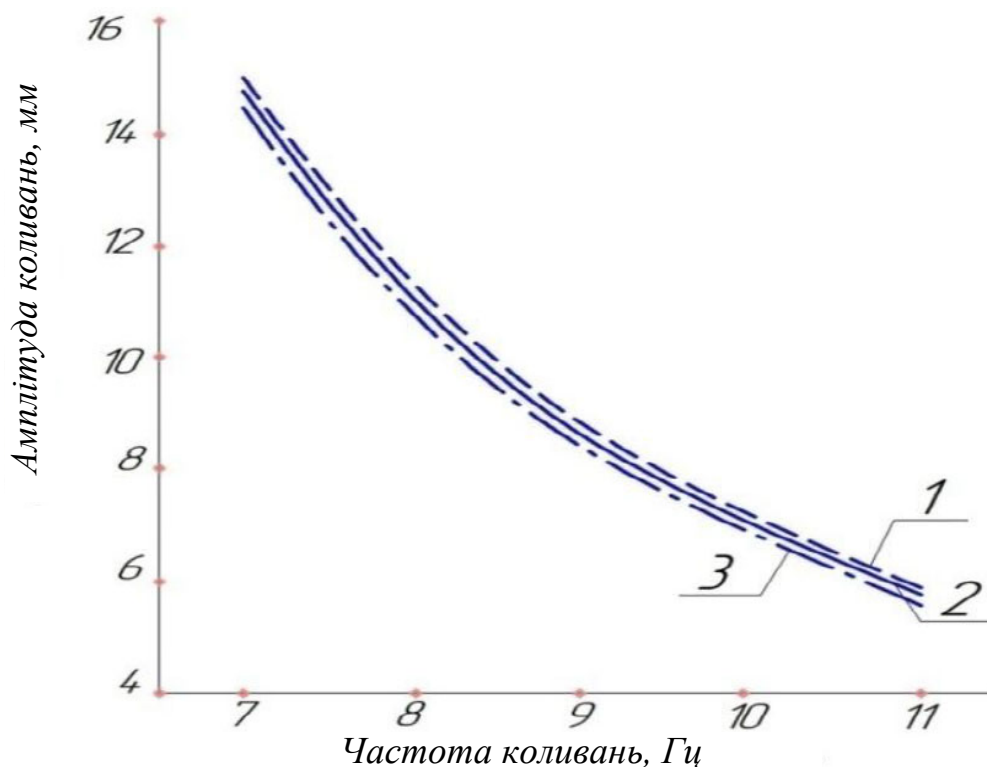


Рисунок 3.7 Амплітудно-частотні характеристики ВВС залежно від маси коливної системи: 1 - $m = 19$ кг, 2 - $m = 20$ кг, 3 - $m = 21$ кг.

Як видно з малюнка 3.7, збільшення або зменшення маси коливної системи на 10 % не має значного впливу на амплітудно-частотну характеристику ВВС. Це дозволяє зробити висновок про те, що зміна навантаження, при роботі приводу в режимі вимушених коливань, не призводить до порушення закону коливань робочого органу і забезпечує якість технологічного процесу.

Так як коливний привод працює в режимі вимушених коливань, тобто частота коливань задається за допомогою блоку управління [3], описаного в розділі 4, то особливий інтерес представляє тривалість перехідних процесів, тобто час, від пуску установки до усталеного режиму роботи. За допомогою математичної моделі, задавшись наступними параметрами: $c = 5000$ Н/м, частота коливань робочого органу - 10 Гц, тривалість включення плоского ЛАД – 50 %, маса коливальної

системи 20 кг, була отримана наступна залежність, що дозволяє оцінити час перехідних процесів (рисунок 3.8).

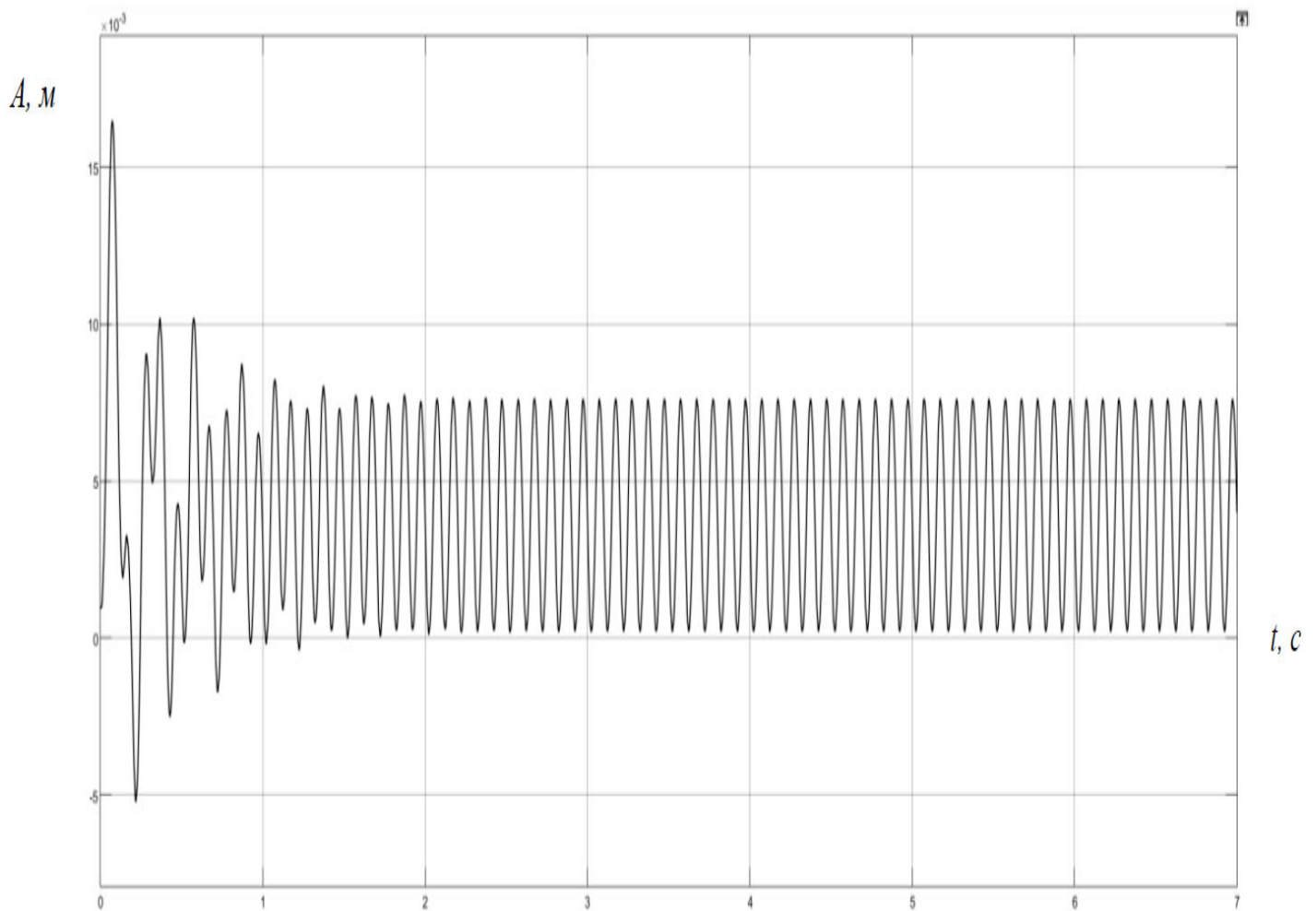


Рисунок 3.8 Залежність амплітудно-частотної характеристики від часу

Як видно з даного малюнка, час перехідного процесу складає 2 секунди. З огляду на той факт, що при експериментальному дослідженні режим роботи установки вважали сталим через 20 секунд після початку її роботи, можна вважати, що перехідні процеси не будуть впливати на якість сепарування.

Одним з вирішальних впливів на рух зернового матеріалу по поверхні решіт є максимальне прискорення коливного руху робочого органу [19], яке визначає швидкість, режими і характер руху зернового матеріалу. Якщо шар зернової суміші на решеті невеликий, спів-розмірний товщині відокремлюваних часток, то для їх надійного просіювання досить надати решету прискорення, що не перевищує $25 м/с^2$. Однак при значній товщині шару необхідно надавати решету значні прискорення до $30 м/с^2$, щоб дрібні частинки проникли через шар і досягли отворів

решета. При перевищенні значення прискорення понад 30 м/с^2 відбувається процес «віброкипіння» зернової суміші, що призводить до порушення виробничого процесу, зниження ймовірності западання частинок зернової суміші в отвори решіт і значного зниження ефективності поділу.

На рисунку 3.9 представлена залежність прискорення робочого органу ВВС від амплітуди коливань робочого органу при русі робочого органу вниз і вгору. Маса коливної системи при моделюванні становила $M = 20 \text{ кг}$, жорсткість пружного елемента $c = 6000 \text{ Н/м}$, тривалість включення плоского ЛАД – 50 % від періоду коливань.

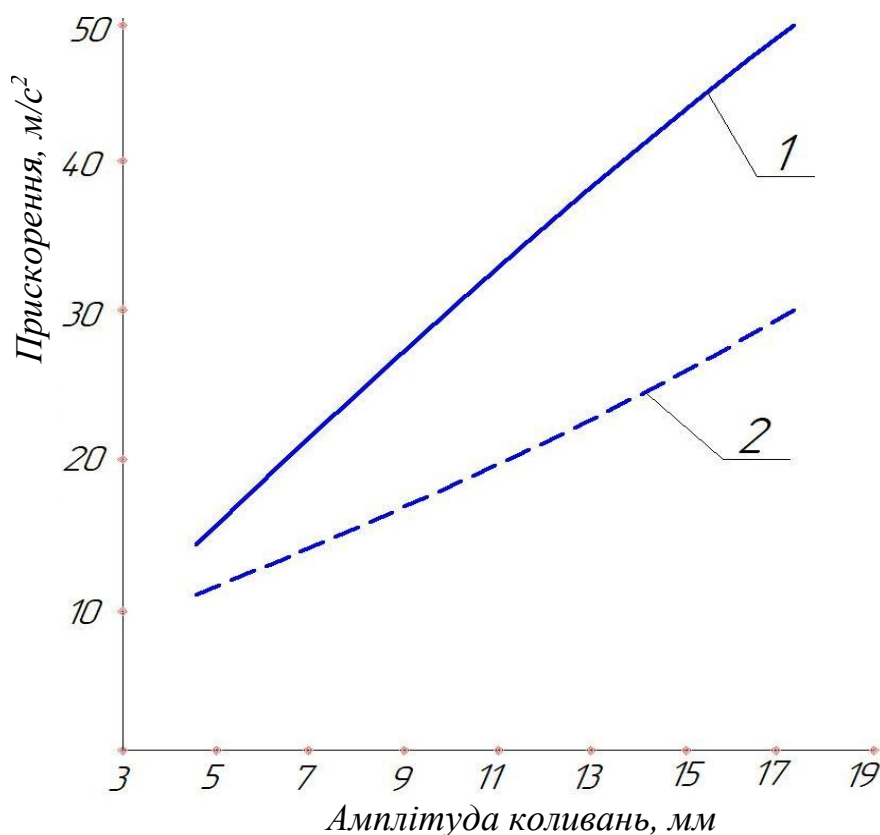


Рисунок 3.9 Залежність прискорення робочого органу ВВС від амплітуди коливань при русі робочого органу: 1 - вниз, 2 - вгору

Як видно з графіка, при збільшенні амплітуди коливань робочого органу збільшується його прискорення. Причому, значення прискорення робочого органу при русі вгору значно вище, ніж при русі вниз. Це зумовлено застосуванням у підвісці вібраційного приводу пружних елементів, які у свою чергу, забезпечують плавний рух зернової суміші вниз по твірній робочого органу.

3.4 Енергетичні характеристики і продуктивність

Аналіз енергетичної характеристики дає можливість оцінити загальну та питому витрати електричної енергії споживаної коливним приводом для забезпечення технологічного процесу [32].

Частота включення ЛАД в коливному приводі ВВС знаходиться в інтервалі 5-11 Гц, тому з'являється можливість проаналізувати один з можливих енергетичних параметрів, наприклад струм індуктора ЛАД і простежити його взаємозв'язок з технологічними параметрами машини. В якості технологічного параметра, можна розглянути амплітудно-частотну характеристику. У сталому режимі, при змодельованому імпульсному управлінні плоским ЛАД із середнім значенням немагнітного зазору рівного 3 міліметри, струм індуктора представлений на рисунку 3.10.

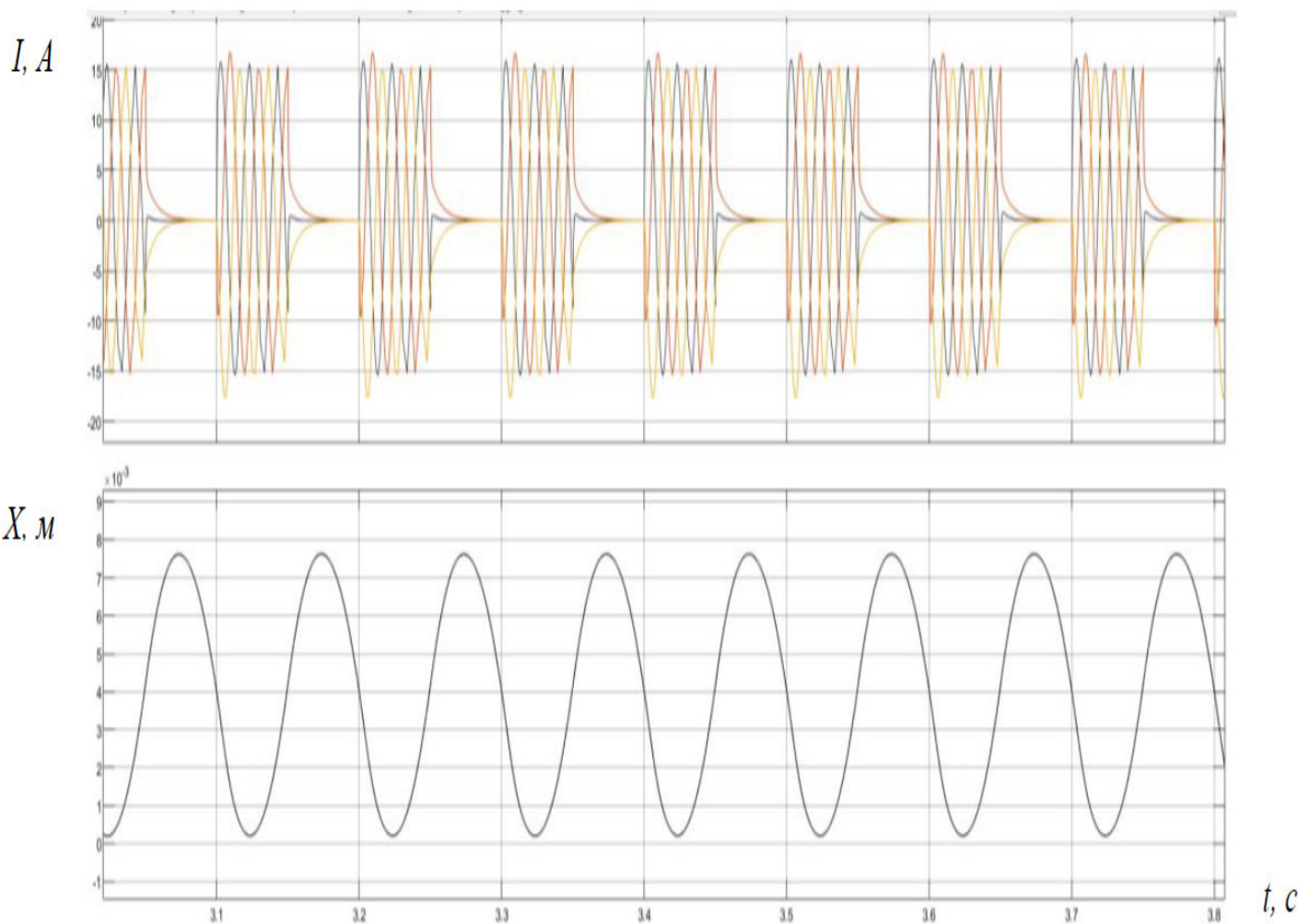


Рисунок 3.10 Почасові залежності фазного струму індуктора ЛАД і траєкторії переміщення робочого органу в процесі роботи

Як видно з малюнка, зміна фазного струму, в імпульсному режимі в момент пуску не перевищує 12 % від сталого значення, при цьому тривалість протікання струму становить 0,1 с.

Важливим в сепарації зерна є якість поділу зернової суміші, для забезпечення якої необхідно обґрунтувати параметри електроприводу, і визначити продуктивність установки. На рисунку 3.9 наведено розподіл зернової суміші на решеті.

Зернова суміш подається з розкидачів на внутрішню поверхню прийомної ділянки решета у верхній його частині, утворюючи кільцевої шар (Рисунок 3.11, а), і під дією сили тяжіння F_m і коливань суміш рухається зверху вниз. Вільна поверхня шару суміші утворює циліндричну поверхню радіусом R_0 [29]

Для визначення продуктивності Q ВВС по продовольчому зерну (3.1) [29] був використаний спрощений варіант моделі, в якій кільцевий шар змінної в'язкості розділяється на два однорідних кільцевих підшари (рисунок 3.11 б) з різними коефіцієнтами динамічної в'язкості μ .

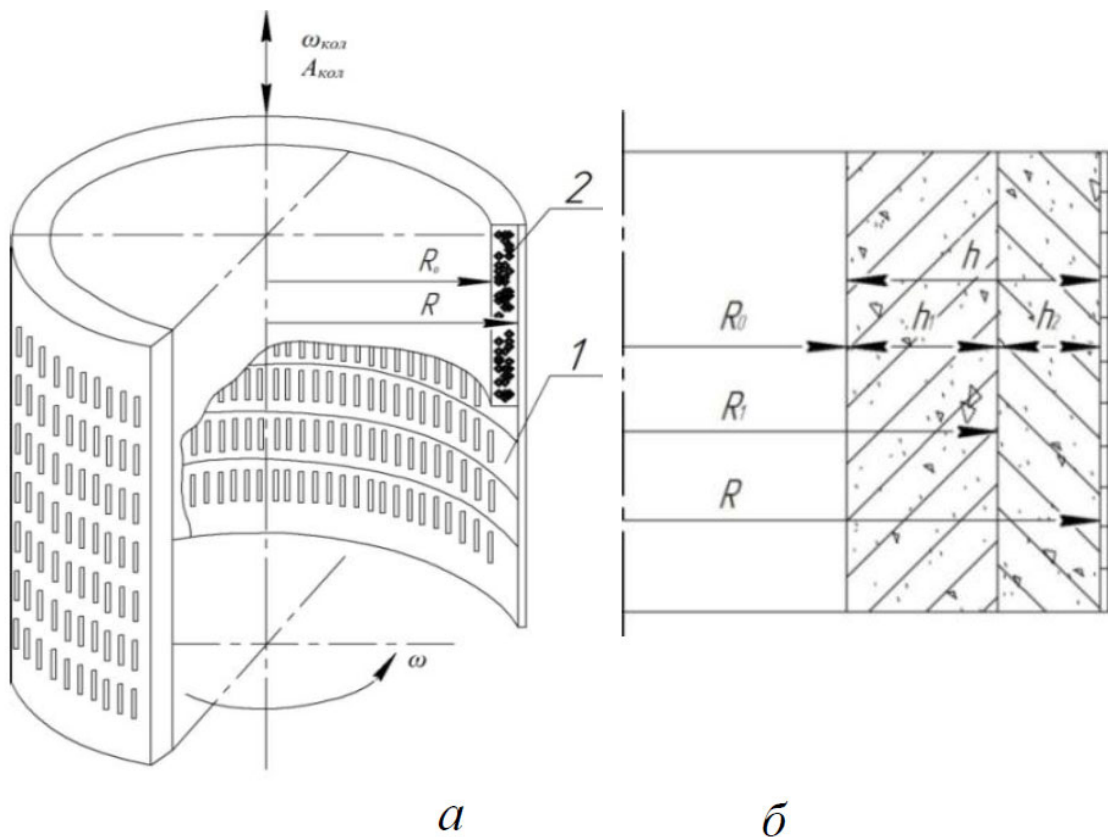


Рисунок 3.11 Розподіл зернової суміші на решеті: а - схема циліндричного решета; б - розподіл зернової суміші на поверхні циліндричного решета: 1 - решето, 2 - шар зерна

У підшарі, який ближче до поверхні решета, коефіцієнт в'язкості μ_1 більший, ніж коефіцієнт в'язкості μ_2 у підшару, який межує з вільною від зернової маси поверхнею [27].

$$Q = \pi \left\{ \begin{aligned} & \left(R_1^2 - R_0^2 \right) \cdot \left[\frac{\rho g}{\mu_1} \cdot (R_1^2 - R_0^2) - \frac{\rho g}{\mu_1} \cdot R_0^2 + \left(\frac{\rho g}{\mu_2} \cdot R^2 - \frac{\rho g}{2R} \cdot (R_1^2 - R_0^2) + \frac{\rho g - \rho g}{4} + \frac{\mu_2 - \mu_1}{2} \cdot \left(\frac{R_1^2}{2} - R_0^2 \cdot \ln \frac{R_1}{R} \right) \right) \right] + \\ & + \frac{\rho g}{\mu_1} \cdot R_0^2 \cdot \left(R_1^2 \cdot \ln \frac{R_1}{R} - R_0^2 \cdot \ln \frac{R_0}{R} \right) + (R_1^2 - R^2) \cdot \\ & \cdot \left[\frac{\rho g}{\mu_2} \cdot (R^2 - R_0^2) + \frac{\rho g}{\mu_2} \cdot R^2 - \frac{\rho g}{2R} \cdot (R^2 - R_0^2) - \frac{\rho g}{\mu_2} \cdot R_0^2 - \frac{\rho g}{\mu_2} \cdot R_0^2 \cdot R_1^2 \cdot \ln \frac{R_1}{R} \right] \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

де R - радіус решета, м;

$R_0 = R - h$ - радіус вільної поверхні шару, м;

ρ - густина шару зернової суміші, кг/м³;

h - товщина шару зернової суміші, м;

μ_1, μ_2 - коефіцієнти динамічної в'язкості підшарів зернової суміші, Па/с;

h_1, h_2 - товщина підшару зернової суміші, що межує з вільною поверхнею, і товщина підшару, що межує з поверхнею решета відповідно, м;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Коефіцієнт динамічної в'язкості μ зернової суміші (3.2) [29] визначається амплітудою і частотою коливань робочого органу, які задаються жорсткістю входять до складу коливного приводу пружних елементів [25].

$$\mu = \frac{4 f p r_c^2}{\omega_{\text{кол}} \cdot \left(\left(-\frac{c}{m \cdot a} \right)^2 - \left(\frac{3}{\pi} \right)^2 \cdot \left(\frac{p}{\omega_{\text{кол}}^2 \cdot r_c \cdot \rho} \right)^2 \cdot f_c^2 \right)^{1/2}}, \quad (3.2)$$

де p - тиск зернової суміші, Па;

f - коефіцієнт тертя зернової суміші об поверхню решета;

ρ - густина шару зернової суміші кг/м³;

c - жорсткість пружних елементів, Н / м;

m - маса коливної системи, кг;

a - прискорення робочого органу, м/с²;

$\omega_{\text{коль}}$, ω - частота коливань, Гц і кутова швидкість, рад/с обертання робочого органу відповідно;

r_c - радіус однієї зернової частинки, м;

f_c - коефіцієнт сухого тертя між зерновими частинками.

На рисунку 3.12 представлена залежність сили, що розвивається плоским ЛАД від продуктивності ВВС при різній товщині зернового шару на решетах. Товщина зернового шару визначається видом зернової суміші. При отриманні розрахункової залежності прийняті за базові величини: густина зернової суміші 730 кг/м³ (параметри зерна пшениці з вологістю 16 %); номінальна кутова швидкість робочого органу складає $\omega = 11,5$ рад / с (110 об/хв.); жорсткість пружних елементів $c = 5000$ Н/м; тривалість включення ЛАД становить 50 %, частота коливань робочого органу - 10 Гц, модель руху зернової суміші - спрощена, тобто для насінневого зерна розглянута одношарова модель, для продовольчого - двошарова, для зернової купи - тришарова [29].

Для оцінки енергетичних показників коливного електроприводу ВВС отримана розрахункова залежність продуктивності ВВС від потужності плоского ЛАД (рисунок 3.13).

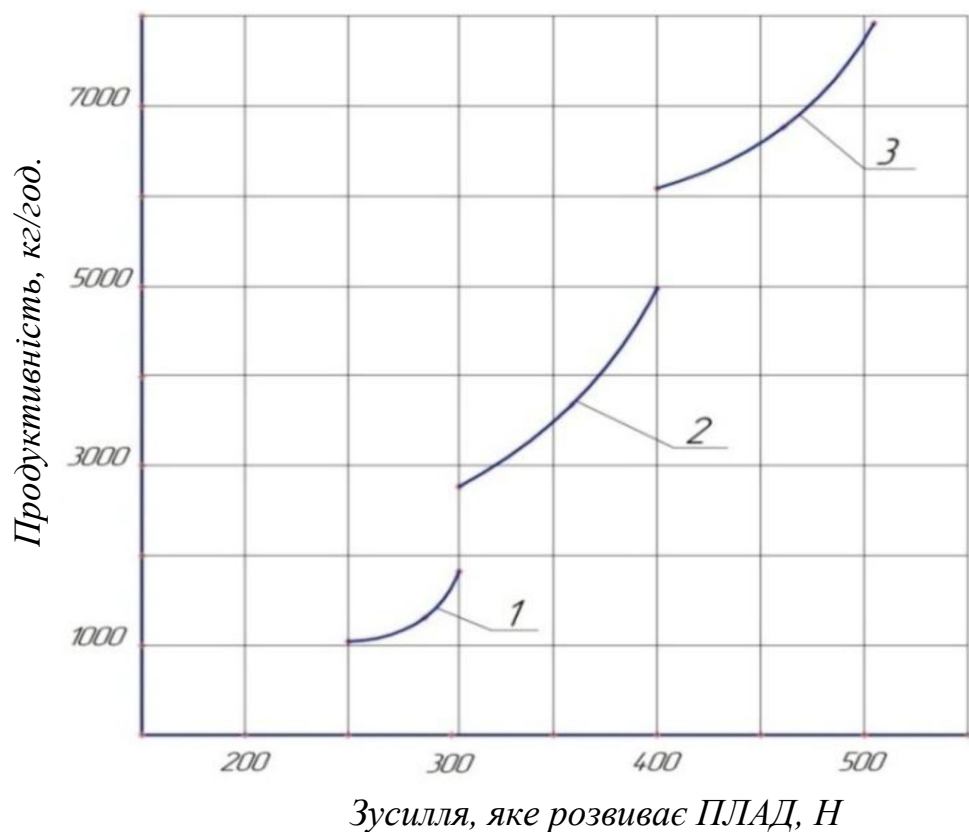


Рисунок 3.12 Залежність продуктивності ВВС від сили ЛАД: 1 - насіннєве зерно, 2 - продовольче зерно, 3 - попереднє очищення (зерновий ворох)

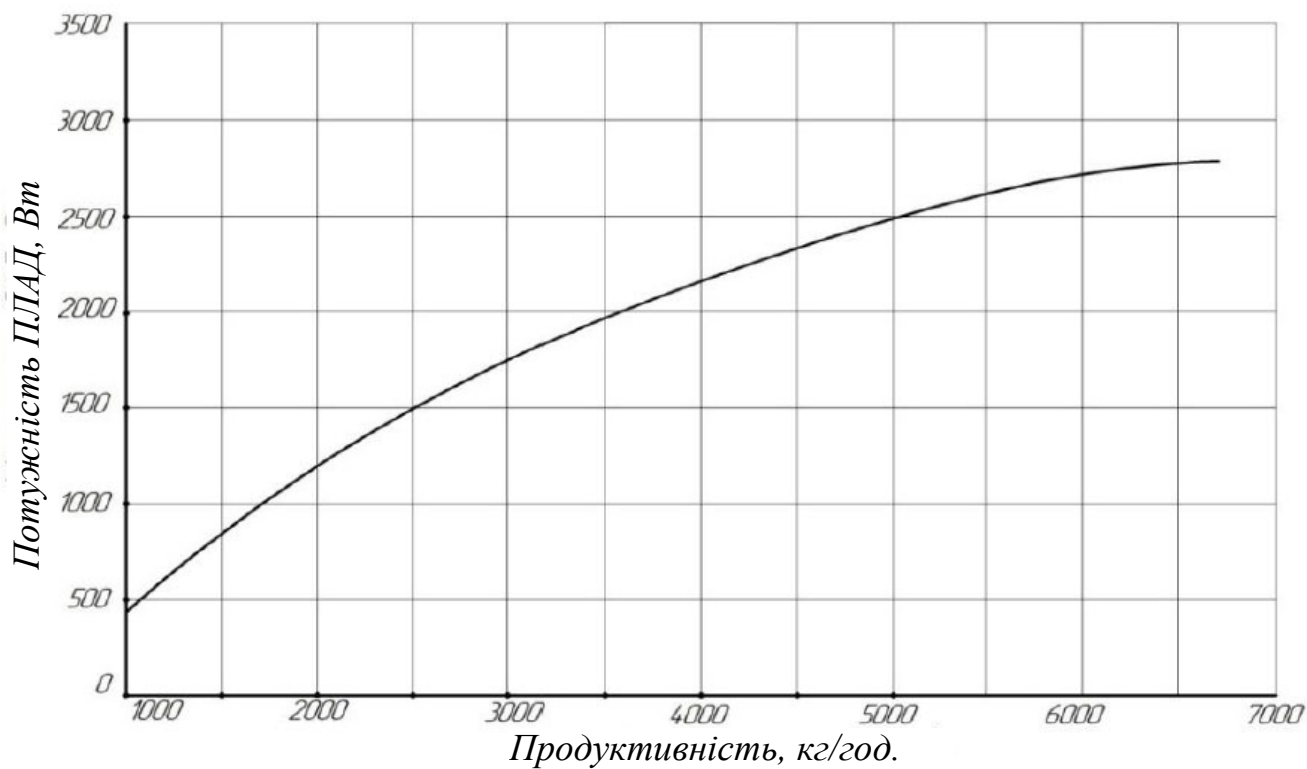


Рисунок 3.13 Розрахункова залежність продуктивності ВВС від потужності ЛАД

Залежність отримана при тривалості включення плоского ЛАД – 50 % від періоду коливань. Як видно з даного графіка, потужність ЛАД для продуктивності 6000 кг/год. становить 2,8 кВт, що на 28 % менше, ніж споживання існуючої установки ВВС при тій же продуктивності, додаткові 22 % витрачаються на здійснення стиснення пружних елементів.

Таким чином, аналіз математичної моделі, дозволяє на етапі проектування ВВС плоским ЛАД вибрати найбільш раціональні конструктивні і режимні параметри роботи коливного приводу.

Висновки: проведено аналіз приводних характеристик ВВС з лінійним електроприводом за допомогою математичної моделі середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab (Simulink). Результати аналізу приводних характеристик дозволяють зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що для плоского ЛАД з немагнітним зазором 3 міліметри зміна фазного струму індуктора, в режимі змодельованого імпульсного включення, в момент пуску від сталого значення не перевищує 12 % при тривалості протікання пускового струму 0,05 с.

2. Визначено, що збільшення або зменшення маси коливної системи на 10 % не має значного впливу на амплітудно-частотну характеристику ВВС. Це дозволяє зробити висновок про те, що зміна навантаження, при роботі приводу в режимі вимушених коливань, не призводить до порушення закону коливань робочого органу і забезпечить якість технологічного процесу.

3. Доведено, що перехідні процеси, при роботі приводу в режимі вимушених коливань, не будуть впливати на технологічний прогрес.

- 4 Для забезпечення якості сепарації зерна визначені конструктивні і режимні параметри вертикального коливного електроприводу. На підставі отриманих взаємозв'язків частоти і амплітуди коливань робочого органу з жорсткістю пружного елемента і режиму роботи електроприводу встановлено, що тривалість включення ЛАД при імпульсному управлінні повинна складати не більше 50 % часу від періоду коливань робочого органу залежно від виду і маси зернової суміші.

5 Отримана розрахункова залежність продуктивності ВВС від потужності ЛАД при тривалості включення плоского ЛАД – 50 % від періоду коливань. Аналіз залежності, потужність ЛАД для продуктивності 6000 кг/год. становить 2,8 кВт, що на 28 % менше, ніж споживання існуючої установки ВВС при тій же продуктивності.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА ВІБРОСЕПАРАТОРІ

4.1 Аналіз дії вібрації на організм людини та методи захисту від неї

Вібрація – це коливні процеси, що відбуваються у механічних системах.

Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 39 (далі – ДСН 3.3.6.039-99).

Згідно з документом вібрація ділиться на локальну та загальну.

Загальна вібрація – це вібрація, яка передається людині через опорні поверхні тіла.

Локальна вібрація – це вібрація, яка передається через руки працюючих при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування машинами і обладнанням, деталями, які обробляються тощо.

Виробнича вібрація може бути зумовлена недостатньо сильною віброізоляцією й амортизацією обладнання та сільськогосподарських і транспортних машин.

Вона здатна завдати серйозної шкоди людському здоров'ю, зокрема спричинити:

- струс мозку;
- збої у роботі серця;
- розлади нервової та судинної систем;
- приступи перевтоми тощо.

Нав'язливий виробничий шум та вібрація частотою більше ніж 200 Гц серйозно виснажують хитку нервову систему та спричиняють збільшене психічне навантаження.

Санітарні норми виробничої вібрації Відповідні санітарні норми поширюються як на загальну, так і на локальну вібрацію, що мають вплив на робітника під час його трудової активності. Виняток становлять роботи на водному, залізничному, а також повітряному транспорті.

Санітарні норми встановлюють:

- класифікацію виробничих вібрацій;
- методи гігієнічної оцінки виробничих вібрацій;
- параметри, які нормуються, та їх допустимі величини;
- вимоги до вимірювань на робочих місцях;
- основні заходи профілактики.

Дотримання санітарних норм є обов'язковим для кожного відомства, об'єднання, міністерства, підприємства, організації незалежно від форми власності.

Дотримуватися їх зобов'язані як громадяни, так і організації, що спеціалізуються на виготовленні та експлуатації вібронебезпечного обладнання, інструментів і механізмів.

У нормативно-технічних документах мають бути враховані усі вимоги наведених вище норм. Йдеться про загальноприйняті стандарти, технічні умови, будівельні методичні вказівки, інструкції тощо.

Виробнича вібрація загальної дії.

Вібрацію загальної дії залежно від джерела її походження поділяють на такі категорії:

Транспортна вібрація – коливання, що впливають на людину, яка перебуває в умовах робочих місць причіпних чи самохідних машин. Йдеться про транспортні засоби, що коливаються під час руху по дорогах чи іншій місцевості, а також у процесі їх розробки. Серед осередків транспортної вібрації: промислове та сільськогосподарське самохідне устаткування (комбайни); вантажні автомобілі (скрепери, тягачі, грейдери а також котки); транспорт гірничошахтний, який належить до самохідного рейкового, наприклад, машини для прибирання снігу.

Транспортно-технологічна вібрація належить до другої категорії впливу на робітника, який перебуває в робочих умовах, де рухливість дуже обмежена. Йдеться про устаткування, що здійснює рух лише спеціальними поверхнями на виробництві, в умовах робочих майданчиків. До осередків таких коливань можна зарахувати робочі екскаватори, наприклад, роторного виду, будівельну та промислову кранову техніку, устаткування для загрузки мартенів, комбайни гірничого призначення,

бурильні каретки самохідного типу, укладачі бетону, шляхові машини та інше устаткування.

Технологічна вібрація належить до III категорії впливу на людину в робочих умовах. Вона здатна поширюватися на устаткування стаціонарного призначення та на робочі поверхні, яким не властиве дрижання. Джерелами коливань такої дії можуть бути метало- та деревообробне устаткування, робочі верстати, різноманітне ковальське та пресувальне обладнання, ливарні машини, установки стаціонарного електричного виду дії, вентилятори та насоси.

Технологічну вібрацію також викликають бурові агрегати для впорядкування свердловин, різноманітні машини для тваринництва, верстати та установки для очищення зерна і його сортування (сушарні), будівельне обладнання (за винятком бетоноукладачів), устаткування нафтохімічної та хімічної галузей тощо.

Типи загальної технологічної вібрації.

Залежно від місця поширення загальні технологічні коливання поділяють на такі, що виникають в умовах:

- постійного робочого місця на підприємствах;
- ідалень, побутових та складських приміщень, де не властива виробнича вібрація як така;
- конструкторських бюро, в заводоуправліннях, медпунктах, лабораторіях, у робітничих приміщеннях, пунктах, обладнаних для навчальних потреб, у приміщеннях контор, а також у робочих кімнатах для спеціалістів розумової праці.

Локальна вібрація та її джерела

За типом утворення локальні коливання поділяють на такі:

- від механізованого ручного інструменту та елементів керування відповідним обладнанням і машинною технікою;
- від інструментів ручного використання без двигунів та складових, що перебувають в обробці.

Поділ вібрації за її часовими характеристиками

Залежно від часових характеристик наведені вище типи вібрацій можна поділити на такі:

- постійної дії, для яких величина віброшвидкості або віброприскорення змінюється менше ніж у два рази (близько 6 дБ) за одну робочу зміну;
- непостійної дії, для яких величина віброшвидкості або віброприскорення змінюється не менше ніж у 2 рази (6 дБ та більше) за зміну.

Вібрації непостійної дії бувають: коливного типу дії, рівень яких змінюється у часі безперервно; переривчастого типу, за яких контакт із вібрацією під час роботи може перериватися, а період таких інтервалів може бути більше за 1 с; імпульсні коливання, які складаються з одного або кількох вібраційних впливів (удари), кожен довжиною менше ніж 1 с, за частоти їх дії менше ніж 5,6 Гц.

4.2 Заходи щодо обмеження несприятливого впливу виробничої вібрації на працюючих

Можна виділити організаційно-технічні та лікувально-профілактичні заходи щодо обмеження несприятливого впливу виробничої вібрації на працівників. До організаційно-технічних заходів належать:

- зменшення вібрації у джерелі виникнення конструктивними і технологічними методами при розробці нових та модернізації наявних машин;
- зменшення вібрації на шляху розповсюдження засобами віброізоляції та вібропоглинання, наприклад, за рахунок застосування спеціальних сидінь, майданчиків з пасивною пружинною ізоляцією, гумових, поролонових та ін. вібропоглинаючих матеріалів, мастил тощо;
- своєчасне проведення планового та попереджувального ремонту машин з обов'язковим післяремонтним контролем вібраційних характеристик;
- використання машин відповідно до їх призначення, передбаченого нормативно-технічною документацією; своєчасне проведення ремонту профілів шляхів та поверхонь для переміщення машин, їх покриттів, кріплень підтримуючих конструкцій та ін., що впливають на вібраційні характеристики машин; та інші.

Комплекс лікувально-профілактичних заходів містить:

- професійні і профілактичні огляди; режим праці; вітамінізацію;

- організацію профілактичного відпочинку, лікувальна гімнастика та масаж рук;
- використання засобів індивідуального захисту від шуму і вібрації.

Для профілактики вібраційної хвороби проводять попередній медичний відбір під час прийняття на роботу; ретельно виявляють під час періодичних медичних оглядів осіб із початковими проявами вібраційної хвороби та своєчасно їх лікують.

Засоби і методи захисту від вібрацій

До технічних заходів відносять усунення вібрацій в джерелі і на шляху їх розповсюдження. Усунення і зменшення вібрацій в джерелі починають ще на стадії проектування і виготовлення машин, закладаючи в їх конструкцію рішення, що забезпечують вібробезпечного умови праці: заміну ударних процесів на ненаголошені, застосування деталей із пластмас, ремінних передач замість ланцюгових, шестерень з глобоїдальним і шевронним зачепленням замість прямозубих, вибір оптимальних робочих режимів; ретельну балансування обертових деталей, підвищення класу точності їх виготовлення і чистоти обробки поверхонь та ін.

При експлуатації техніки зменшення вібрацій досягають своєчасної підтяжкою кріплень, усуненням вільного ходу, зазорів, якісним змазуванням тертьових поверхонь, правильним регулюванням робочих органів, особливо ріжучих і ударних, та іншими методами.

Для зменшення вібрацій на шляху їх розповсюдження застосовують вібродемпфування, виброгасіння і віброізоляцію.

Вібродемпфування являє собою зменшення амплітуди коливань деталей машин (в основному кожухів, сидінь майданчиків для ніг) внаслідок нанесення на них шару пружно-в'язких матеріалів (гуми, пластиків, мастик і т. п.). Величина демпфуючого шару зазвичай в 2-3 рази перевищує товщину елемента конструкції, на яку він наноситься. Вібро-демпфування може бути здійснено застосуванням двошарових матеріалів: сталь - алюміній, сталь - мідь та ін.

Віброгасіння досягають збільшенням маси віброуючого агрегату за рахунок установки його на жорсткі масивні фундаменти (з амплітудою коливання не більше

0,1- 0,2 мм, а для особливо відповідальних споруд - 0,005 мм) або на масивні плити, а також збільшенням жорсткості системи шляхом введення в конструкцію додаткових ребер жорсткості.

Віброізоляція послаблює передачу коливань від джерела на підставу, иол, робочу площадку, сидіння і т.п. за рахунок усунення між ними жорстких зв'язків і установки пружних елементів (віброізоляторів). В якості віброізоляторів застосовують сталеві пружини або ресори, прокладки з гуми, а також резинометалличні, пружинно пластмасові та пневморезиновіе конструкції, що використовують пружні властивості повітря.

На мобільних машинах віброізолятори встановлюють між двигуном і рамою (остовом) машини, між рамою і кабіною, кабіною і сидінням водія. Пневматичні шини таких машин - також хороші віброізолятори. Вони зменшують передачу коливань від агрофону. Віброізолятори встановлюють і на стаціонарну техніку, обладнання, верстати (рис. 1.1) та ін. Цим зменшують передачу вібрацій на підставу, підлогу, а з нього - на ноги людини.

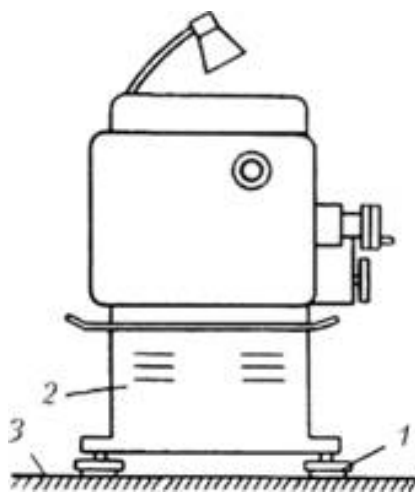
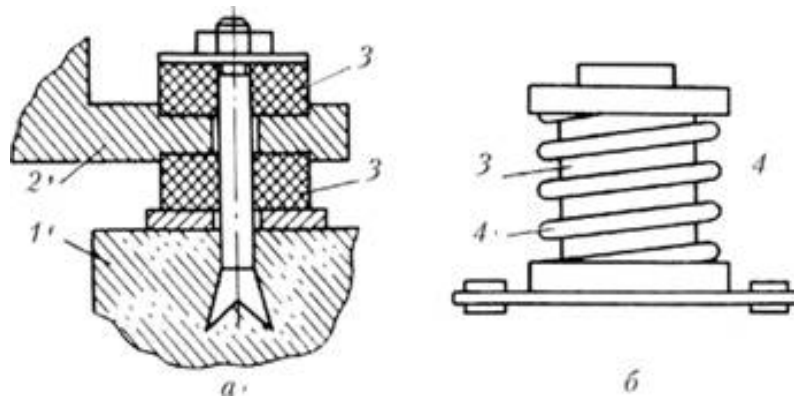


Рис. 4.1. Віброізоляція токарного верстата:

1 – вібро-ізолятори; 2 - верстат; 3 - підстава

Підвищені віброзахисні вимоги висувають до сидінь мобільної техніки. Щоб уникнути резонансних явищ конструкція сидінь повинна мати власну частоту коливань не більше 1,5 Гц. Зниження вібрацій з частотами до 10 Гц найбільш ефективно здійснює підвіска, а з частотами від 12 до 100 Гц - м'яка подушка сидіння. На рис. 4.2 наведені схеми деяких віброізоляторів.



1 - фундамент; 2 - станина машини; 3 - гума; 4 - пружина

Рис. 4.2. Схеми віброізоляторів: а - гумового; б - пружинно-гумового;

Віброізоляцію у вигляді пружних матеріалів, що наносяться на ручки, застосовують для зменшення локальної вібрації, що передається на руки від ручного механізованого інструменту.

До організаційних заходів по боротьбі з вібрацією відносять раціональне чергування режимів праці та відпочинку. Загальний час контакту з вібруючими об'єктами (вібрація яких не перевищує допустимих норм) рекомендується обмежувати тривалістю робочої зміни (8 год), а час безперервного впливу вібрацій - до 15-20 хв, включаючи мікропаузи по 30 с. Для активного відпочинку, проведення фізіопроцедур, виробничої гімнастики влаштовують дві перерви: перший - через 1-2 годин від початку роботи (на 20 хв) і другий - через 2 години після обідньої перерви (на 30 хв).

До роботи з вібруючим устаткуванням не допускаються особи молодше 18 років і вагітні жінки. Заборонена понаднормова робота з вібруючим устаткуванням, інструментами і т. п.

З лікувально-профілактичних заходів застосовують виробничу гімнастику, ультрафіолетове опромінення, повітряний обігрів, масаж і теплі ванночки для рук і ніг, прийом вітамінних препаратів (С, В,) та ін.

Із засобів індивідуального захисту застосовують рукавиці, рукавички, спецвзуття з віброзахисними, пружнодемпфуючими елементами та ін.

Висновок: проведений аналіз дії вібрації на організм людини та розроблені заходи захисту від неї при роботі на вібросепараторі.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

5.1 Розрахунок техніко-економічних показників

Виробничі витрати і продуктивність праці на підприємствах визначаються техніко-економічними показниками використовуваного обладнання. Основним призначенням розрахунків є економічний показник, ефективність проекрованої установки полягає в її якісній і кількісній оцінці порівняно з сучасними діючими установками аналогічного експлуатаційного призначення, виборі кращих варіантів в проекті і його подальшому дослідженні [25; 26; 37].

Пропонований пристрій коливного приводу ВВС з плоским ЛАД має просту конструкцію (виключені складні обертові вузли та перетворювачі виду руху), легко монтується, має широкий діапазон регулювання параметрів коливань робочого органу [23; 31; 35] і тому може знайти достатньо широке застосування у фермерських господарствах які займаються вирощуванням та післязбиральною переробкою зерна.

Доцільність застосування коливного приводу на базі плоского ЛАД у ВВС можна визначити шляхом аналізу і порівняння показників, які впливають на економічну ефективність. Для цього приймаємо такі вихідні дані (див. таблицю 5.1).

Таблиця 5.1 Вихідні дані для визначення економічної ефективності

	Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Капітальні затрати, грн.	35000	22000
2	Між-сервісний інтервал, год.	180	278
3	Середній час простоїв за сезон, год.	24	5

Економічний ефект від впровадження запропонованого коливного приводу досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат від скорочення часу на технічне обслуговування і ремонт коливного приводу [33].

Протягом року сільськогосподарські підприємства займаються очищенням зернової суміші в середньому 60 діб, що відповідає 1440 годинам [28]. Це один з

найбільш напружених періодів роботи, який вимагає безвідмовної роботи всього підприємства в цілому. Заміна втулок кріплення вібратора, підшипників ексцентрикового механізму вимагає 150...180 хв. Відмови ексцентрикового механізму при роботі трапляються 1 раз на 2 роки.

Розрахунок витрат на експлуатацію ВВС:

$$E_3 = A_o + T_{po} + Z_n + P_p, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де A_o - відрахування на амортизацію, грн.;

T_{po} - відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.;

Z_n - зарплата обслуговуючого персоналу, грн.;

P_p - інші витрати, руб.

При подальших розрахунках для базового варіанту позначимо величини з індексом «б», а для проектного варіанта з індексом «п».

Амортизаційні відрахування:

$$A_o = K_B \cdot \alpha, \text{ руб} \quad (5.2)$$

де K_B - капітальні вкладення, грн.;

α - річна норма амортизаційних відрахувань від капітальних вкладень - 11,1 % [25; 26].

$$A_{ob} = 35000 \cdot 0,111 = 3885 \text{ грн.};$$

$$A_{op} = 22000 \cdot 0,111 = 2420 \text{ грн..}$$

За сезон (1440 годин) у базовому варіанті заміна зношених елементів підвіски коливного приводу проводиться 8 разів. У проектному варіанті, заміна здійснюється 5 разів. При цьому, вартість нових деталей (втулок кріплення вібратора, підшипників ексцентрикового механізму) в базовому варіанті становить 6200 грн., в проектному (пружні елементи) - 1700 грн..

Таким чином, витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування складуть:

$$T_{po} = K_{зч} \cdot z, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де $K_{зч}$ - вартість нових деталей коливального приводу, грн..

N - кількість ремонтів (замін зношених деталей) за сезон, раз.

$$T_{роб} = 6200 \cdot 8 = 4960 \text{ грн.};$$

$$T_{рон} = 1700 \cdot 5 = 850 \text{ грн.}.$$

Заробітна плата обслуговуючого персоналу:

$$З_{п} = N \cdot T_{з} \cdot Г_{с} \cdot K_{д} \cdot K_{н} \cdot N, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

де N - чисельність обслуговуючого персоналу, чол.;

$T_{з}$ - витрати робочого часу працівника на здійснення ремонту, год.

У базовому варіанті, з урахуванням складності кінематичної схеми коливного приводу, заміна зношених деталей ремонтною бригадою здійснюється протягом 180 хвилин.

Також, враховується той факт, що в існуючих машинах, регулювання амплітуди коливань робочого органу залежно від виду оброблюваної зернової суміші здійснюється за допомогою заміни ексцентрикового механізму, що вимагає додаткових витрат часу і коштів. У проектному варіанті, заміна зношених деталей здійснюється протягом 60 хвилин.

$K_{д}$ - коефіцієнт, що враховує додаткову оплату праці, [26];

$K_{н}$ - коефіцієнт, що враховує нарахування на зарплату [26];

$Г_{с}$ - тариф працівника на годину, грн. [26];

N - кількість ремонтів при яких проводилася заміна зношених деталей за сезон, раз.

Заробітна плата персоналу, який здійснює ремонт механізмів, складається з зарплати бригади по експлуатації та ремонту, яка включає 2 чол. Тарифна ставка на годину для даної бригади становить $Г_{с} = 120$ грн..

$$З_{нб} = 2 \cdot 3 \cdot 120 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 8 = 11048 \text{ грн.};$$

$$З_{нн} = 2 \cdot 1 \cdot 120 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 5 = 2302 \text{ грн.};$$

Інші витрати – 1 % від капітальних вкладень, грн..

$$П_{рб} = 350 \text{ грн.};$$

$$П_{рн} = 220 \text{ грн.}.$$

Загальні витрати на експлуатацію ВВС у рік:

$$E_{зб} = 3885 + 4965 + 1104 + 350 = 10304 \text{ грн.};$$

$$E_{зн} = 2420 + 850 + 230 + 220 = 3720 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат:

$$E_l = (E_{зб} + E \cdot K_{бб}) - (E_{зб} + E \cdot K_{вн}), \text{ грн.} \quad (5.5)$$

де E - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E = 0,1$) [25];

$$E_p = (10304 + 0,1 \cdot 35000) - (3720 + 0,1 \cdot 22000) = 7887 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_k = K/E_p, \text{ років} \quad (5.6)$$

де $K = 22000$ - вартість проектного варіанту ВВС, грн..

$$T_k = 22000 / 7887 = 2,7 \text{ року.}$$

Результати розрахунку техніко-економічної ефективності роботи представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Результати розрахунку техніко-економічної ефективності

Показники	Варіанти	
	Базовий	Проектний
Капітальні вклади, грн.	35000	22000
Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	2	2
Між-сервісний інтервал, час.	180	278
Кількість ремонтів (замін зношених деталей) за сезон, разів	8	5
Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.	4960	850
Середній час простоїв за сезон, год.	24	5
Споживана потужність, кВт	3,9	2,8
Загальні витрати на експлуатацію ВВС у рік, грн.	10304	3720
Економічний ефект за розрахунковий період, грн.	-	7887
Термін окупності капіталовкладень, років	-	2,79

5.2 Висновки по розділу

Висновки: терміни між-сервісних інтервалів проектного варіанту збільшилися порівняно з базовим варіантом на 54 %, скоротився час простою обладнання і знизилася кількість його ремонтів, усі зазначені фактори, дозволяють скоротити витрати на експлуатацію проектного варіанту порівнянні з базовим на 62 %, економічний ефект від реалізації проекту склав 7887 грн.. при терміні окупності 2,7 року, що є цілком прийнятним для сільського господарства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючої конструкції ВВС показав складність кінематичної схеми руху робочого органу у вертикальній площині і вимушеної зупинки сепаратора для регулювання амплітуди коливань, що знижує ефективність його роботи.

Запропонований спосіб здійснення коливань робочої машини у вертикальній площині на базі лінійного асинхронного електроприводу дозволяє знизити витрати для забезпечення якості сепарації шляхом плавного регулювання параметрів вертикальних коливань робочого органу.

2. Для забезпечення якості сепарації зерна визначені конструктивні і технологічні параметри вертикального коливного електроприводу. На підставі отриманих взаємозв'язків частоти і амплітуди коливань робочого органу з жорсткістю пружного елемента і режиму роботи електроприводу встановлено, що тривалість включення ЛАД при імпульсному управлінні повинна складати не більше 50 % часу від періоду коливань робочого органу залежно від виду і маси зернової суміші.

3. Для реалізації необхідної якості поділу зернової суміші необхідно регулювати параметри коливань робочого органу і відповідно електроприводу залежно від навантаження на решето. Так, для забезпечення необхідної якості поділу не нижче 80 %, допускається питоме навантаження на решето до $1,2 \text{ кг/м}^2\text{с}$ і рекомендується амплітудно-частотне прискорення $A\omega^2 = 0,7 \text{ м/с}^2$.

4. Для підтримки технологічних параметрів роботи електроприводу запропонована схема управління на базі широтно-імпульсної модуляції, згідно з якою частота коливань робочого органу дорівнює частоті комутацій ЛАД, а амплітуда коливань забезпечується тривалістю увімкненого стану лінійного електродвигуна.

5. Запропонований спосіб здійснення коливань робочого органу у вертикальній площині на базі плоского ЛАД дозволяє знизити споживання електроенергії для сепарації зерна не менше ніж на 28 %, залежно від виду і маси зернової суміші.

Усунення складного механічного перетворювача виду руху знижує металоємність конструкції, збільшує терміни між-сервісних інтервалів на 54 % з 180 до 278 годин, дозволяє знизити експлуатаційні витрати на ремонт і обслуговування на 62 %. Середньорічний економічний ефект від реалізації проекту складає 8000 грн. при терміні окупності 2,7 року.

Рекомендації виробництву

Проведені дослідження дозволяють дати рекомендації щодо застосування в коливному приводі ВВС плоского ЛАД:

- використовувати режим вимушених коливань ВВС, що дозволяє залежно від параметрів оброблюваної зернової суміші встановлювати значення амплітуди коливань робочого органу в потрібних межах;

- тривалість включення ЛАД при імпульсному управлінні повинна складати не більше 50 % часу від періоду коливань робочого органу;

- при визначенні геометричних розмірів вторинного елемента (кільця) необхідно враховувати, що його мінімально допустима висота в позитивному напрямку сили $F_{лад}$ повинна перевищувати геометричні розміри індуктора ЛАД на 30 мм.

Перелік використаної літератури:

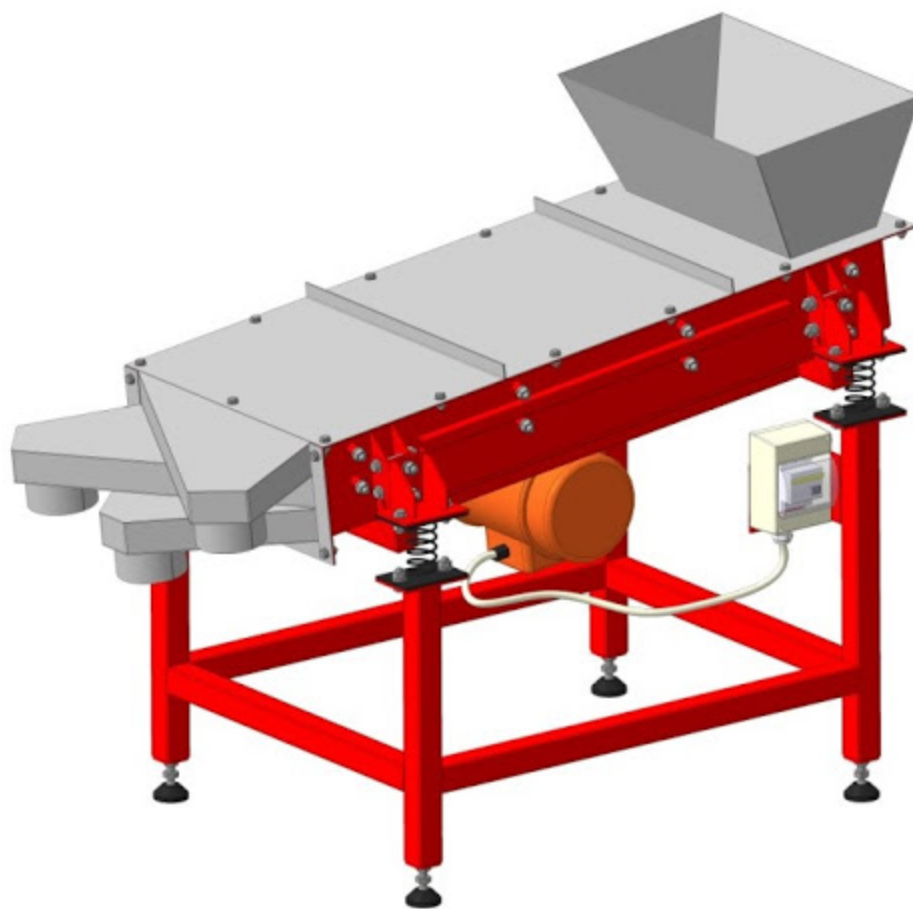
1. Анурьев В. И. “Справочник конструктора-машиностроителя” В 3-х т. – 6 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982 г.
2. Берник П.С., Ярошенко Л. В. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов. - Винница, издательский центр ВГСХИ, 1998.- 116 с.
3. Блехман Н. М. Синхронизация в технике и природе. - М.: Наука, 1981. – 546 с.
4. Браткова-Михновская Е. П. А. С. СССР № 8468, Вибросепаратор. бюл.№11, 1926. - 3 с.
5. Будрык Г. В. Мартьян А. А., Степаненко В. Д., Хвостюк Л. А. А. С. СССР № 1114119, Вибросепаратор. бюл. №15, 1985. - 2 с.
6. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред.совет. В. Н. Челомей (пред.) - т. 4. Вибрационные процессы и машины/Под ред. З. З. Левендела - М.: Машиностроение, 1981.-509 с.
7. Вибрационная техника в пищевой промышленности/Гончаревич И. Ф., Урьев Н. Б., Телейсник М. А.; под ред. Урьева Н. Б.- М.: Пищевая промышленность, 1977. – 307 с.
8. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов // Берник П. С., Ярошенко Л. В.; под ред. Берника П. С. – Винница: Издательский центр ВГСХИ, - 1998 - 116 с.
9. Гончаревич И. Ф. Динамика вибрационного транспортирования. – М.: Наука, 1972. – 212с.
10. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологии. - М.: Наука, 1981. – 320 с.
11. Гончаревич И. Ф. Вибрация нестандартный путь. – М.: Наука, 1987. – 120 с.
12. Гряник Г. М., та ін. “Охорона праці” – К.: Урожай, 1994. – 272 с.
13. Дацишин О. В. “Дипломне та курсове проектування” - К.: Урожай, 1996. – 191с.
14. Демский А. Б., та ін. “Процеси сепарування на зернопереробних підприємствах” – К.: Вища школа, 1980. – 304 с.

15. Денисов П. Д., Калиновская О. П. А. С. СССР №567054, Вибросепаратор. бюл. №28 1977, 3 с.
16. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. “Детали машин. Курсовое проектирование” – М.: Высшая школа, 1990. – 399 с.
17. Заика П. М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
18. Земзеров С. Н., Сизиков С. А., Немков Ю. А., Чубук В. А. А.С. СССР №727742, Вибросепаратор. бюл. №20 1980, 3 с.
19. Кужков В. И., Миловидов М. Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерновой перерабатывающей промышленности.- Москва: “Колос”, 1984. – 238 с.
20. Лехман С.Д. “Довідник з охорони праці в сільському господарстві” – К.: Урожай, 1990. – 120 с.
21. Львовский Е. М. Статистические методы построения эмпирических формул. Учеб. пособие для ВУЗов 2-е издание перераб. и дополнен. – М.: Высшая школа. 1988 – 239 с.
22. Патент України № 104108 С2, Керований віброзбуджувач. Ярошенко Л.В., Чубик Р. В., Мокрицький Р. Б. Бюл. № 24, 2013.
23. Патент України № 105075 С2, Спосіб стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах. Ярошенко Л.В., Чубик Р. В. Бюл. № 7, 2014.
24. Патент України № 69424, Вібраційний сепаратор. Ярошенко Л.В., Мамалига В. С. Омелянов О.М. Бюл. № 9, 2004
25. Патент України № 79624, Багатофракційний вібраційний сепаратор. - Ярошенко Л.В., Серета Л.П. Бюл. № 10, 2007.
26. Патент України № 92041, Спосіб стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин. Ярошенко Л.В., Серета Л. П., Чубик Р. В. Бюл. № 18, 2010
27. Патент України № 98184 С2, Багатофракційний вібраційний сепаратор. Ярошенко Л.В., Гунько І.В. Бюл. № 8, 2012.

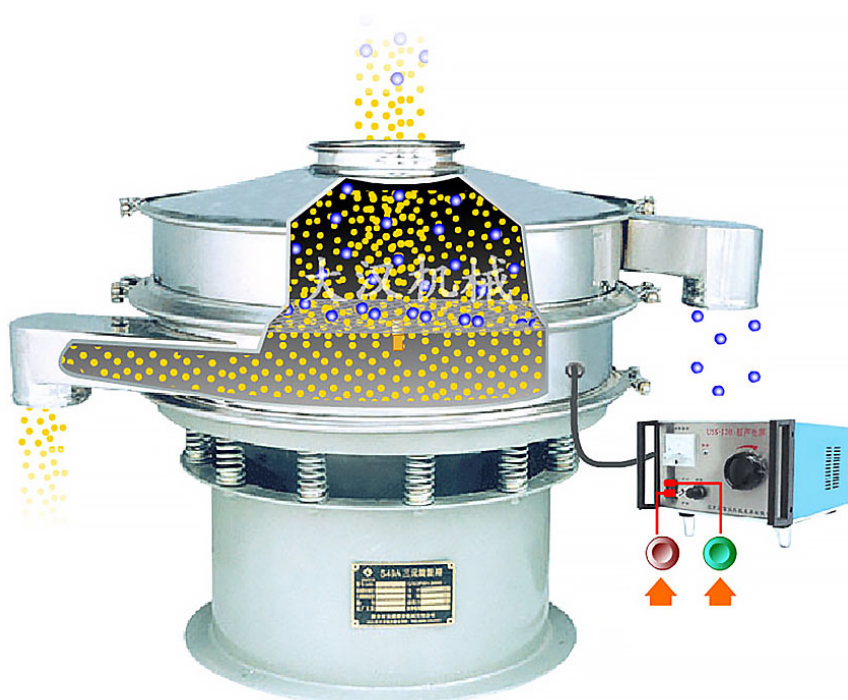
28. Планирование эксперимента в технике/ В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко: под ред. Б. П. Креденцера – К.: Техника, 1984. – 200 с.
29. Прудовский Б. М., Заволокин В. П., Дорофеева Л. З., Мишина О. М. А.С. СССР №1657939, Вибросепаратор. бюл. №23, 1991, 2 с.
30. Ярошенко Л. В. Нові сільськогосподарські вібраційні машини з вертикальним приводним валом / Вибрації в техніці та технологіях.- 2002.-№ 4. - С. 97 - 105.
31. Ярошенко Л.В., Берник П. С., Писаренко В. Г. Пружні підвіски вібраційних машин/Надійність машин та прогнозування їх ресурсу: Доповіді міжнародної науково-технічної конференції. – Івано-Франківськ:, 2000. – С. 172 – 179.
32. Ярошенко Л.В., Грищук О. А. Удосконалення конструкції вібросепаратора для насіння багатолітніх трав та його аналіз/Vedecky pokrok na rozmezi millennium – 2009. Materialy V mezinarodni vedecko-prakticka conference. – Praha: Publishing House “Education and Science” s. r. o., - 2009. – 184 p. P. 51-56.
33. Ярошенко Л.В., Мамалига В. С., Омелянов О.М., Килимнюк П. В. Спіральний вібросепаратор для насіння багаторічних трав/ІІМНТК “Вибрації в техніці та технологіях“/ Труды. - Вінниця, ВДСГІ, 1998.-С.169-171.
34. Ярошенко Л.В., Р. Чубик, О. Омелянов, М. Омелянов Стабилизация скорости вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin – Rzeszów 2016. Vol.18. No.8. 29-34.
35. Ярошенко Л.В., Серета Л.П., Берник П. С., Енергоощадні вібраційні машини для кормовиробництва/Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник праць / УкрНДІ по прогнозуванню та випробуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва. – Дослідницьке, 2003. – Випуск 6(20). – 218 с. – С. (152-157).
36. Ярошенко Л.В., Солоня О.В. Багатофракційний вібраційний сепаратор з вертикальним кінематичним віброзбудувачем/Вибрації в техніці та технологіях. - 2009.-№ 4 (56) -С.-157 - 160.

37. Ярошенко Л.В., Чубик Р. В. Електромеханічна модель адаптивного багато фракційного вібраційного сепаратора/Вібрації в техніці та технологіях. - 2011.- № 3 (63) -С.-126 - 131.
38. Ярошенко Л.В., Чубик Р.В. Керовані вібраційні технологічні машини. Монографія. Вінниця: ВНАУ, 2011. 355 с. ISBN 978-966-2462-35-7.
39. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1./Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 388 с.
40. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. – Вінниця: ВНАУ, 2016. – с.
41. Г.М. Калетнік, С.Т. Олійнічук, О.П. Скорук, О.В. Климчук, В.І. Яцковський, Д.М. Токарчук, І.А. Здор Альтернативна енергетика України: особливості функціонування і перспективи розвитку: Колективна монографія / [за ред. проф. Г.М. Калетніка]. – Вінниця: «Едельвейс і К», 2012. – 250 с.
42. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1 / О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207, [2] с.. – ISBN 5-337-01695-4:
43. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В.Зайцев, О.С.Марченко и др; Ред. Є.Л.Жулай. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0:
44. Електропривод і застосування електроенергії у сільському господарстві / І.І. Мартиненко; В.Ф. Гончар; Л.П. Тищенко; І.І. Шарамок; за ред. І.І. Мартиненка;. – 2-ге вид., перероб. і доп.. – К. : Урожай, 1983. – 304 с.
45. Практикум з електропривода: Навч. посіб. для виклад. і студ. / В. С. Олійник, О. С. Марченко, Є. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. – 192 с.. – ISBN 5-337-01603-2:
46. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок: учеб. для сред. спец. учеб. заведений / под ред. И.Ф. Кудрявцева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 479, [1] с. – (Учеб. и учебные пособия для учащихся техникумов). – ISBN 5-10-001-738-4 :

ДОДАТКИ



Загальний вигляд вібросепаратора VPM



Загальний вигляд вібросепаратора VS-08 у розрізі



Загальний вигляд вібросепаратора Start-Mill



Загальний вигляд вібросепаратора СВ-1,0