

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення решітного стану зерноочисної машини»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Сердюченко Олександр Богданович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1. Аналіз конструкцій та робочих процесів зерноочисних машин.....	4
1.2. Вплив вібрації несучої конструкції машини на протікання технологічного процесу та шляхи її усунення.....	7
Висновки по розділу.....	10
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
2.1. Опис конструктивної схеми удосконаленого решітного стану зерноочисної машини.....	11
2.2. Вплив виду підвіски решітного стану на ефективність очищення зернового вороху.....	13
2.3. Вплив величини подачі зернового вороху на ефективність його очищення.....	16
Висновки по розділу.....	20
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	22
3.1. Організація охорони праці на підприємстві.....	22
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи із зерноочисними машинами.....	23
Висновки по розділу.....	24
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	25
Висновки по розділу.....	27
Загальні висновки.....	28
Список використаних джерел.....	29

ВСТУП

Зерноочисні машини – це спеціалізоване обладнання, призначене для відокремлення сторонніх домішок від зернової маси за різними фізико-механічними властивостями (розмір, парусність, довжина, вага, форма). Вони використовуються, як самотійно на токах, так і в складі великих автоматизованих зерноочисних комплексів.

Важливість зерноочисних машин у процесі обробки врожаю є критичною. Без них зберегти та вигідно продати зібране зерно неможливо. Вони виконують роль головного фільтра та стабілізатора якості.

Удосконалення решітного стану зерноочисних машин спрямоване на розв’язання трьох головних проблем традиційного обладнання (наприклад, ОВС-25 або ЗАВ): низька якість очищення при підвищеній вологості, забивання отворів сит та руйнівна вібрація, що передається на раму машини. Модернізація проводиться, як на рівні геометрії самих решіт, так і шляхом зміни механіки всього вузла.

Із вище зазначеного актуальність теми наукового дослідження є важливою в сучасному виробництві.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз конструкцій та робочих процесів зерноочисних машин.

Аналіз конструкцій та робочих процесів зерноочисних машин дозволяє оцінити ефективність розділення зернового вороху на фракції, виявити слабкі місця в наявних технологіях та визначити напрямки для модернізації обладнання.

Нижче наведено детальний аналіз основних конструктивних типів машин та фізико-механічних процесів, які лежать в основі їх роботи [4].

Аналіз робочих процесів (фізико-механічні принципи), сепарація зернового вороху базується на різниці фізичних властивостей компонентів маси:

1) Аеродинамічне розділення (за парусністю):

- суть процесу полягає в тому, що зернова маса проходить крізь вертикальний або похилий потік повітря;

- параметри: ефективність залежить від швидкості витання (V_e) компонентів. Якщо швидкість повітря більша за (V_e) соломи та полови, але менша за (V_e) повноцінного зерна, легкі домішки видувуються в осаджувальну камеру.

2) Розділення за геометричними розмірами (на решетах):

- за товщиною (довгасті отвори): зернина проходить крізь щілину, якщо її товщина менша за ширину щілини. Для цього зерно має орієнтуватися вздовж отвору;

- за шириною (круглі отвори): зернина проходить крізь отвір, якщо її найбільший поперечний розмір (ширина) менший за діаметр отвору. Орієнтація зернини має бути вертикальною (торцем до сита).

3) Розділення за довжиною (трієрування):

- використовуються заглиблені комірки на внутрішній поверхні барабана. Короткі домішки (кукіль, бите зерно) повністю поміщаються в комірку, піднімаються вище і скидаються у внутрішній жолоб. Довгі (вівсюг, солома) випадають назад у барабан завдяки зміщеному центру ваги.

4) Розділення за питомою вагою та станом поверхні (вібропневмосепарація) – це поєднання вібрації похилої деки та висхідного повітряного потоку. Суміш «псевдозріджується». Важкі повноцінні зерна тонуть і рухаються вгору по деці, а легкі, порожні або уражені хворобами насінини спливають і сходять вниз.

За конструктивно-технологічними схемами сучасні машини поділяються на чотири базові класи, які наведені нижче [6].

Повітряно-решітні машини (наприклад, ОВС-25, ЗВС-20А, СМ-4).

Конструктивні особливості таких машин складаються з приймальної камери, одного або двох аспіраційних каналів (на вході та виході) та коливального решітного стану (раму з підвісами, ексцентриковим валом та щітковою системою очищення сит). Перевагою є їх універсальність, висока чіткість розділення за лінійними розмірами, доступність запчастин. Недоліки вказаних машин – це чутливість до вологості вороху (сита забиваються соломою та вологою землею), висока динамічна вібрація, яка руйнує будівельні конструкції комплексів ЗАВ.

Вібровідцентрові або барабанні сепаратори (наприклад, БЦС-50, КБС).

Робочими органами таких машин є циліндричний решітний барабан, що обертається навколо вертикальної або горизонтальної осі. Зерно притискається до сит відцентровою силою або гравітацією.

Перевагою є висока продуктивність при мінімальній займаній площі, відсутність жорстких коливальних навантажень на будівлю ЗАВ, ідеально підходять для попереднього очищення кукурудзи та вологого вороху (барабан не схильний до швидкого забивання довгими стеблами).

Недоліки – це нижча точність калібрування насіннєвого матеріалу порівняно з плоскими решетами через швидкий рух зерна по колу.

Аеродинамічні безрешітні сепаратори (наприклад, САД, ІСМ).

В них повністю відсутні решета та кінематичні вузли тертя. Складаються з бункера-дозатора, генератора струминного повітряного потоку (прямоточного або заглибленого вентилятора) та каскаду збірних фракційних бункерів.

Перевагою є відсутність травмування зерна, здатність очищувати ворох будь-якої вологості та засміченості, висока точність відбору посівного матеріалу за питомою вагою (схожість до 98%), енергоефективність.

Недоліки є такими, що вони не здатні якісно відокремити сміття, яке має однакову вагу та парусність із зерном (наприклад, шматочки соломи рівні за масою пшениці), вимагають встановлення циклонно-осаджувальних комплексів для вловлювання дрібного пилю.

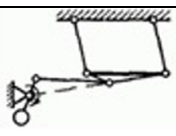
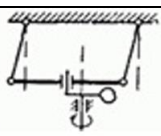
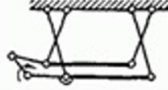
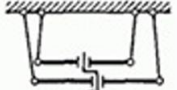
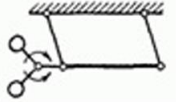
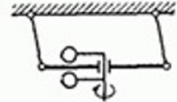
Трієрні блоки. Машини такого типу в конструкції мають горизонтальні циліндри з виштампованими всередині комірками, забезпечені внутрішнім шнеком для відведення відсортованої фракції. Поділяються на куколевідбірники (видаляють короткі домішки) та вівсюговідбірники (видаляють довгі домішки).

Перевагами таких машин є єдиний тип конструкції, що забезпечує 100% очищення від важковідокремлюваних бур'янів (кукіль, вівсюг) та напіврозбитого зерна.

Недоліки мають через низьку продуктивність, високу металомісткість та вузьку спеціалізацію вузла.

Таким чином, схеми найпоширеніших машин з механічним збудженням коливань наведено у таблиці 1.1 [4].

Таблиця 1.1 – Схеми машин для розділення сипких сумішей

Привід	Рух	
	майже прямолінійне зворотно- поступальне	кругове поступальне
З примусовим рухом		
Самобалансувальний		
З віброзбудником		

Головними фактором в зерноочисних машинах є стабільність перебігу технологічного процесу, який полягає в здатності зерноочисної машини безперервно забезпечувати задану якість очищення (чистоту) та продуктивність за умов зміни параметрів вхідного зернового вороху (вологості, засміченості, фракційного складу).

У реальних умовах цей процес є нестаціонарним. Його порушення призводить до втрат цінного зерна у відходи або до засмічення чистого продукту [13].

Сучасне агроінженерне проектування вирішує проблему стабільності процесу за допомогою автоматизації та зміни механіки.

Тенденції розвитку вібраційних зерноочисних машин (повітряно-решітних сепараторів, вібростолів, вібровідцентрових машин) спрямовані на подолання їх головних відомих недоліків – високої динамічної руйнівної вібрації рами, залежності від вологості вороху, енергомісткості та значних габаритів. Вектор розвитку цієї техніки визначається цифровізацією, матеріалознавством та законами нелінійної механіки [2, 9].

1.2. Вплив вібрації несучої конструкції машини на протікання технологічного процесу та шляхи її усунення.

Вібрація несучої конструкції (станини, рами, корпусу) зерноочисної машини є шкідливим паразитним явищем. Замість того, щоб корисні коливання передавалися виключно на решітний стан для просіювання зерна, через недостатню жорсткість або розбалансування енергія передається на саму конструкцію агрегату та будівельні елементи ЗАВ [13].

Вплив вібрації несучої конструкції на технологічний процес полягає в тому, що паразитні коливання станини грубо порушують динаміку руху зернового вороху, а саме:

1) руйнування процесу сегрегації (саморозшарування), тобто для якісного очищення зернова маса має розшаруватися – важке зерно опускається на решето, а легка солома «спливає» наверх. Вібрація рами створює хаотичні поштовхи

(перекося траєкторії). Ворох починає перемішуватися назад, через що солома забиває отвори сит, а дрібні домішки сходять разом із чистим зерном;

2) нерівномірний розподіл вороху по ширині решета: паразитні коливання викликають поперечні нахили та перекося рами. Зерно зсувається на один бік решітного стану. В результаті одна частина сита залишається порожньою, а інша перевантажується товстим шаром, який фізично не встигає просіятися;

3) зниження відносної швидкості просіювання: ефективне очищення базується на чітко розрахованому критерії Фруда (відношенні сили інерції до сили тяжіння). Вібрація несучої конструкції гасить або, навпаки, хаотично збільшує амплітуду коливань решета. Зерно або «залягає» на ситах, або починає занадто сильно підстрибувати, пролітаючи повз отвори.

4) зниження ефективності аспірації (повітряного очищення): вібрація корпусу передається на стінки повітряних каналів та вентилятор. Це викликає мікропульсації тиску і завихрення повітряного потоку, через що легкий пил та полови знову підмішуються до очищеного зерна;

5) аварійне зношування та деформації: постійна вібрація рами призводить до послаблення болтових з'єднань, появи втомних тріщин у металі та швидкого руйнування підшипників приводу.

Шляхи усунення вібрації несучої конструкції полягають в усуненні паразитних коливань, що реалізуються шляхом динамічного балансування сил всередині машини та ізоляції її від зовнішніх конструкцій.

1) Конструктивні методи (всередині машини):

- динамічне врівноваження (протифазні стани): найефективніший метод. Машина проєктується з двома однаковими решітними станами, які через спільний колінчастий вал рухаються у строго протилежних напрямках. Сили інерції верхнього і нижнього станів взаємно гасяться, і на несучу раму навантаження майже не передається;

- встановлення противаг (дебалансів): на головний ексцентриковий або приводний вал монтують спеціальні контрвантажі, маса і радіус обертання яких розраховані так, щоб компенсувати сили інерції коливального решітного кузова.

2) Методи віброізоляції та амортизації:

- перехід на еластичні віброопори: заміна жорсткого кріплення станини на гумометалеві амортизатори (сайлентблоки), поліуретанові буфери або пневматичні подушки. Вони поглинають до 90-95% коливань, залишаючи їх всередині вузла і не пускаючи на фундамент;

- композитні підвіси (вітафори): замість металевих стійок-підвісів решітного стану використовують планки з багатошарового склопластику. Вони гнучкі в напрямку корисного ходу решета, але жорсткі у поперечному напрямку, що усуває бічне розхитування корпусу.

3) Експлуатаційно-технологічні заходи:

- пристрої плавного пуску та частотні інвертори (ЧП): найбільші вібраційні удари рама отримує в моменти пуску та зупинки, коли машина проходить через зону резонансу. Частотний перетворювач дозволяє двигуну «проскакувати» критичні резонансні частоти за лічені секунди.

- підвищення жорсткості опорних конструкцій ЗАВ: якщо машина стаціонарна, під її раму монтують окрему незалежну металеву або залізобетонну віброізольовану опору, яка не зв'язана жорстко з несучими стінами та перекриттями зернотоку.

За відсутності інформації про розподіл у системі сил тертя використовують наближені оцінки рівня резонансних коливань. У роботах [10] описані методи: розкладання за власними коливаннями консервативної лінійної системи, енергетичної оцінки основних вимушених коливань лінійної системи, оцінки вимушених нелінійних коливань за перетином амплітудно-частотної характеристики із скелетною кривою, розрахунку за коефіцієнтами динамічного навантаження. Розрахунок максимальних амплітуд коливань виконують виходячи з таких припущень: коефіцієнти в'язкого тертя пропорційні масам і частотам коливань, сили тертя пропорційні відносним швидкостям руху сусідніх елементів.

Усунення паразитних коливань (як внутрішніх деформаційних, так і зовнішніх вібрацій на раму) реалізується через три послідовні кроки: динамічне збалансування джерела, віброізоляція вузлів та налаштування робочих режимів.

Висновки по розділу

Таким чином, нами визначено, що неврівноваженість рухомих частин зерноочисних машин, недостатня жорсткість елементів рамної конструкції викликають вібропереміщення рам таких машин, що в кілька разів перевищують встановлені нормативні значення.

Для підвищення надійності зерноочисних машин та забезпечення їх вібраційної безпеки потрібен комплексний підхід, який поєднує конструктивну модернізацію, впровадження сучасних матеріалів та автоматизацію управління, зокрема удосконалення приладів підвішування решітного стану.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис конструктивної схеми удосконаленого решітного стану зерноочисної машини.

Представлена нами дана конструкція моделює роботу зерноочисної машини фракційного очищення типу ОЗФ-80 [3, 4]. Конструктивна схема машини наведена на рис. 2.1.

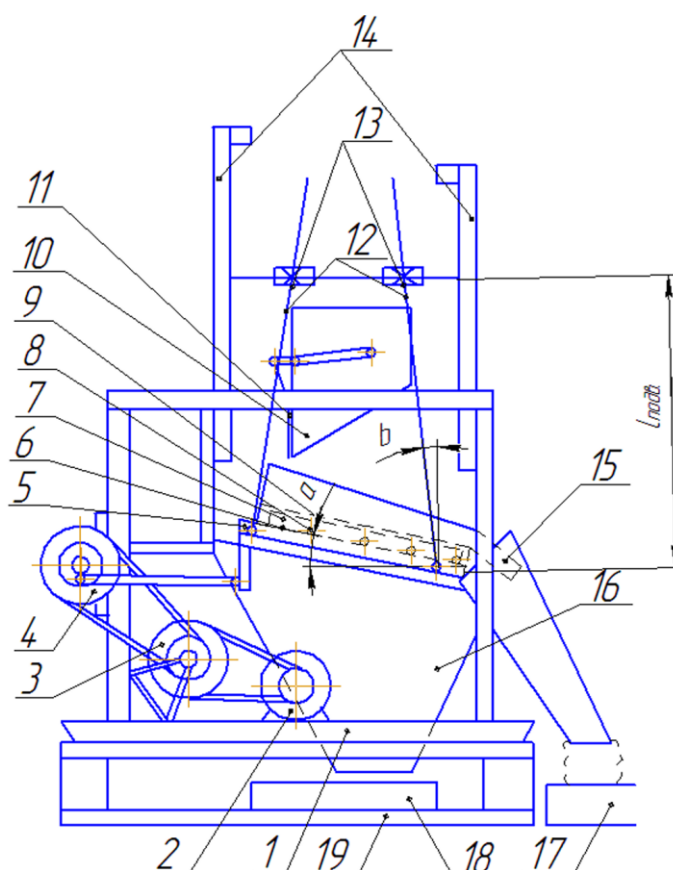


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема удосконаленого решітного стану зерноочисної машини

Дана машина (Рис. 2.1) складається із зварної рами 1, на якій встановлений решітний стан 5, з штампованою відбивальною поверхнею 6, рухомою решітною рамкою 7, кульковими очисниками 8, решетом 9 з кутом нахилу α . Решітний стан підвішений на плоских підвісках 12 довжиною $L_{подв}$, встановлених з можливістю регулювання кута нахилу b щодо вертикалі за допомогою регулювальних

кронштейнів 13. Для регулювання висоти підвісу решітного стану встановлені напрямники 14. З бункера 10, який кріпитися до рами здійснюється подача зернової суміші на решітний стан. Зміна подачі з бункера відбувається за рахунок регульованої заслінки 11. Привід експериментальної установки здійснюється від електродвигуна 2 за допомогою клинопасового варіатора 3 і шатунно-кривошипного механізму 4. Під решітним станом змонтована скатна поверхня 16 з приймальним бункером 18 для збору прохідної фракції. Сходова фракція скатної поверхні 15 направляється в бункер сходу 17.

Експериментальна установка виконана з можливістю оперативної заміни решіт та для визначення ефективності процесу сепарації при обробці різних видів сільськогосподарських культур. Довжина решета складає $L_p=0,79$ м; при ширині $B_p=0,2$ м. Очищення отворів решіт здійснюється кульковими очисниками. Для ефективної реалізації завдань дослідження, регулювання основних параметрів роботи установки відбувалась в наступних межах:

- величина питомої подачі зернового вороху на решето $q=1,0...25,0$ т/(ч·м²);
- частота обертання приводного валу $n=180...950$ хв.⁻¹;
- амплітуда коливань решітного стану $r=5,0...50,0$ мм;
- висота кріплення решітного стану $l_n=100...1200$ мм.

Робота представленої установки здійснюється наступним чином: вихідний зерновий ворох засипається в бункер 10, звідти самопливом проходить через заслінку 11 і надходить на поверхню решета 9 решітного стану 5, що коливається в горизонтальній площині. Очищувальні елементи 8, розташовані в підрешітному просторі, в процесі коливального руху стикаються із зворотною поверхнею решета і вибивають з отворів застрягли елементи зернового вороху, тим самим виконуючи його очищення. Частина зерноsumіші, яка просіялася крізь решето 9, направляється по скатній поверхні в бункер для прохідової фракції 18. В бункер для сходу 17 надходить інша частина зерноsumіші, що йде сходом. У конструкції установки передбачена можливість демонтажу плоских підвісок та використання інших технічних рішень для кріплення решітного стану.

2.2. Вплив виду підвіски решітного стану на ефективність очищення зернового вороху.

Зменшити вібраційне навантаження на раму машини при збереженні штатних показників сепарованості дозволить застосування пневмоподушки для установки на неї решітного стану. Таке технічне рішення дозволить при мінімальних конструктивних змінах у зерноочисній машині знизити вібрацію. Пневмоподушка (Рис. 2.2-2.3) за рахунок пружних властивостей дозволяє нівелювати вібрацію від приводу решітного стану та гасити знакозмінне навантаження, що передається на раму машини [1]. Конструкція решітного стану, встановленого на пневмоподушці, забезпечує рівномірну роботу машини з необхідними показниками якості одержуваного матеріалу.



Рисунок 2.2 – Пневмоподушка балонного типу AIRKRAFT 2B-220



Рисунок 2.3 – Удосконалена установка

В ході досліджень визначено, що удосконалена установка, виконує роботу фракційної зерноочисної машини ОЗФ-80. Подача зернового вороху з бункера на решето з розміром отворів решіт у 2,8 мм становила 15 т/год. Частота коливань решітного стану варіювалася від 300 до 450 хв.⁻¹, з інтервалом 25 хв.⁻¹, амплітуда коливань становила 16 та 28 мм. При проведенні дослідів визначали масу зерна, що зійшла з решета, масу зерна, що пройшла через решето і визначили через коефіцієнт сепарації μ . Результати представлені в табл. 2.1 та рис. 2.4.

Таблиця 2.1 – Вплив виду підвіски решітного стану на ефективність сепарування

Частота коливань n , хв. ⁻¹	Амплітуда A , мм	Коефіцієнт сепарації при базовому кріпленні решітного стану (вертикальному розташуванні підвіски) μ , м ⁻¹	Коефіцієнт сепарації під час встановлення решітного стану на пневмоподушку μ , м ⁻¹
300	28	0,162	0,171
	16	0,149	0,154
325	28	0,166	0,179
	16	0,152	0,161
350	28	0,174	0,188
	16	0,168	0,175
375	28	0,181	0,206
	16	0,173	0,187
400	28	0,187	0,214
	16	0,175	0,198
425	28	0,192	0,219
	16	0,177	0,204
450	28	0,202	0,231
	16	0,179	0,211

З представлених результатів видно, що конструкція кріплення решітного стану до рами зерноочисної машини у вигляді пневмоподушки дає найкращі показники сепарування зернової суміші [1]. Із збільшенням частоти коливань решітного стану з 300 хв.⁻¹ до 450 хв.⁻¹ користування пневмоподушками збільшується від 3,3 до 17,8 % при амплітуді 16 мм і від 5,5 до 14,3 % при

амплітуді 28 мм в порівнянні з решітним станом, підвішеним на плоских пружних підвісках. Пояснити таку різницю по коефіцієнту сепарації можна зниженням рівня шкідливої вібрації за рахунок гашення коливань пневмоподушкою.

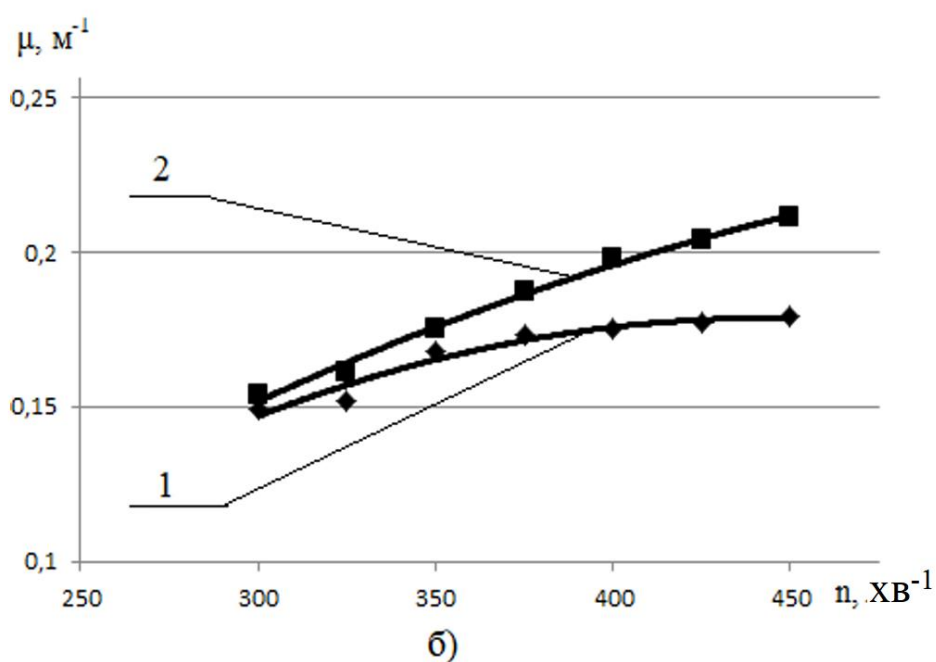
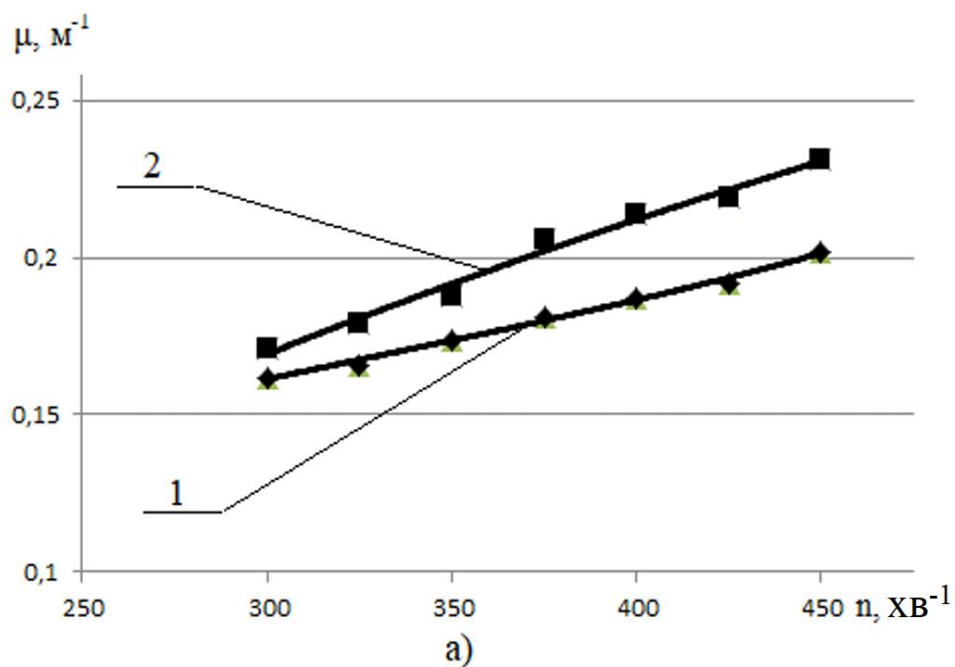


Рисунок 2.4 – Графіки залежності коефіцієнта сепарації від частоти приводу решітного стану:

1 – базова схема підвіски; 2 – установка решітного стану на пневмоподушку;
а – амплітуда коливань 28 мм; б – амплітуда коливань 16 мм.

2.3. Вплив величини подачі зернового вороху на ефективність його очищення.

Організація післяжнивної обробки пов'язана з процесом розділення зернового вороху за фракціями. Ефективність такого розділення залежить від багатьох факторів, таких як режимні параметри роботи машини, початковий фракційний склад вороху, кількість поданого матеріалу на обробку та інших. Якість обробки залежить від кількості переробного вороху за одиницю часу. Продуктивність машини регламентується геометричними та режимними параметрами і варіюється в певних межах, заявленими виробником. Оптимальні режими процесу сепарації – це режими, за яких відбувається якісне розділення зернової маси за максимально можливої продуктивності. Досягнення вимагаючого оптимуму забезпечується за рахунок підбору режимних параметрів під конкретну культуру та фізико-механічний стан оброблюваного вороху загалом. При роботі зерноочисних комплексів заводські рекомендації не завжди відповідають дійсності при доборі режиму роботи під конкретну культуру. Це пов'язано з плаваючим фізико-механічним станом вороху та вклинюванням у роботу машини шкідливих вібрацій. Більш чітко це проявляється на машинах із тривалим терміном служби. Тому, боротьба із шкідливою вібрацією при роботі зерноочисної техніки є актуальною і має важливе значення для ефективності розвитку галузі рослинництва.

В основному у технічних розробках та удосконалень зерноочисної техніки прагнуть врівноважити решітний стан і цим самим знизити вібраційне навантаження. Але низька якість матеріалів, що використовуються у сільському господарстві для зниження вартісних показників техніки та суттєві інерційні, знакозмінні навантаження не дозволяють остаточно нівелювати шкідливу вібрацію [6].

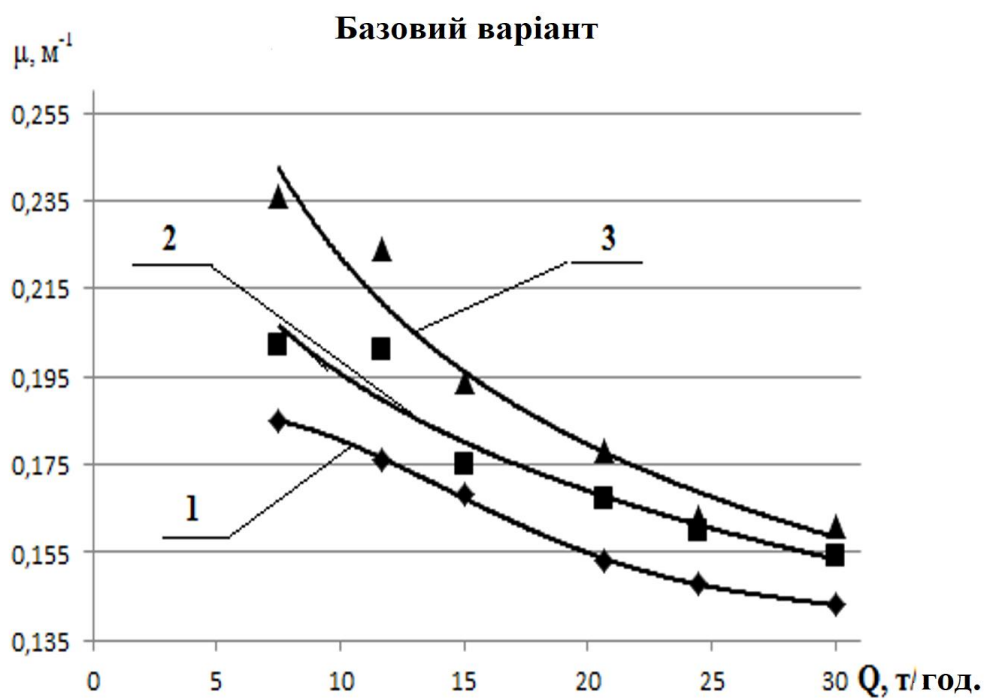
Нами були проведені дослідження з визначення ступеня впливу кількості зернового вороху, що подається, на решето при різних режимах роботи зерноочисної машини на ефективність процесу сепарації. В ході дослідження

використовували дві амплітуди коливань 16 та 28 мм та три частоти 350, 400, 450 хв.⁻¹. Результати представлені в таблиці 2.2.

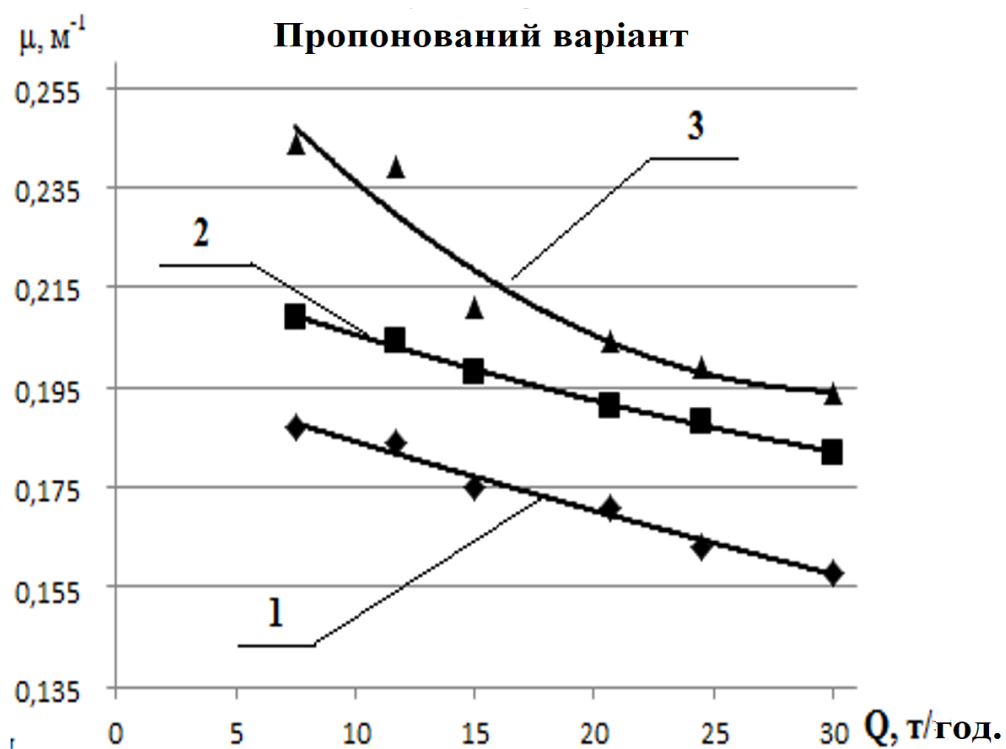
Таблиця 2.3 – Вплив подачі на процес сепарації

Частота, хв ⁻¹	350		400		450	
Амплітуда, мм	16	28	16	28	16	28
Подача, т/год.	Коефіцієнт сепарації, м ⁻¹					
Базовий варіанти						
7,5	0,185	0,257	0,202	0,264	0,236	0,298
11,7	0,176	0,198	0,201	0,232	0,224	0,266
15	0,168	0,174	0,175	0,187	0,194	0,202
20,7	0,153	0,168	0,167	0,180	0,178	0,199
24,5	0,148	0,157	0,160	0,172	0,163	0,192
30	0,143	0,152	0,154	0,168	0,161	0,186
Пропонований варіант						
7,5	0,187	0,258	0,209	0,272	0,244	0,303
11,7	0,184	0,201	0,204	0,241	0,239	0,282
15	0,175	0,188	0,198	0,219	0,211	0,241
20,7	0,171	0,181	0,191	0,209	0,204	0,223
24,5	0,163	0,176	0,188	0,204	0,199	0,218
30	0,158	0,174	0,182	0,200	0,194	0,211

Аналізуючи інформацію, подану в табл. 2.2, можна встановити, що із збільшенням подачі зернової маси на решето йде зниження ефективності сепарації незалежно від режимних параметрів та виду підвіски решітного стану. Найбільші показники коефіцієнта сепарації спостерігається при частоті коливань 450 хв.⁻¹. Максимальне значення коефіцієнта сепарації спостерігалось при використанні пневмоподушки на амплітуді 28 мм і становило 0,303 м⁻¹. На рис. 2.5 та 2.6 представлені графіки залежності коефіцієнта сепарації, через який виражається ефективність процесу розділення зернової маси за фракціями, від величини подачі.



а)



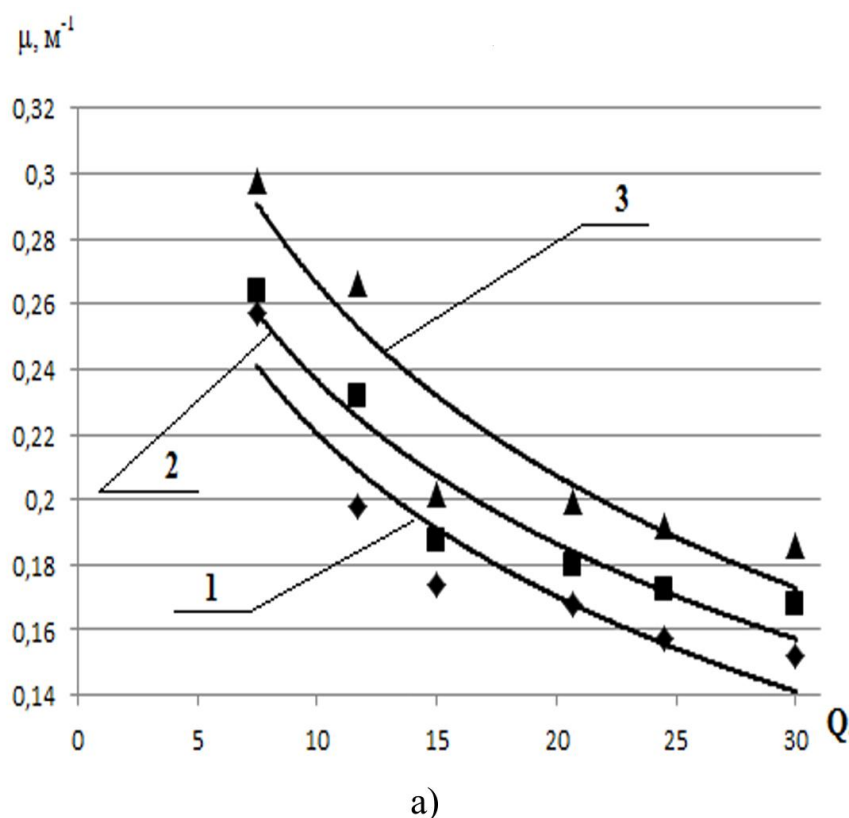
б)

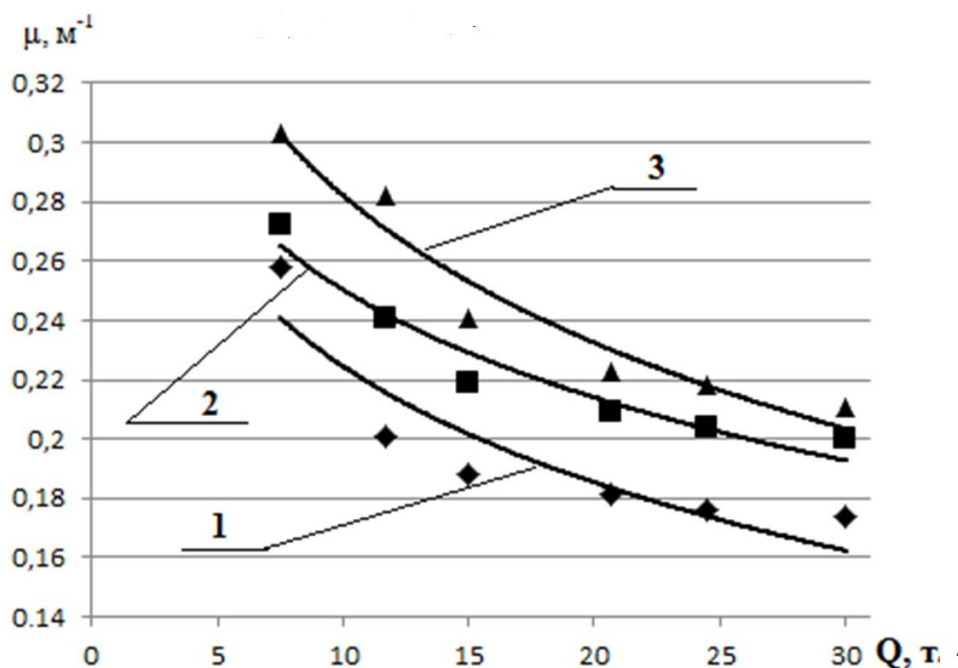
Рисунок 2.5 – Графіки залежності коефіцієнта сепарації від подачі при амплітуді коливань 16 мм:

а – базовий варіант; б – пропонований варіант

1 – 350 хв.⁻¹; 2 – 400 хв.⁻¹; 3 – 450 хв.⁻¹.

З графіків видно, що використання пропонованого варіанту кріплення решітного стану на пневмоподушці дозволяє збільшити ефективність сепарації в порівнянні з базовим варіантом при амплітуді 16 мм на 1...10 % при частоті 350 хв.⁻¹, на 3...18 % при 400 хв.⁻¹ та на 3...20 % за 450 хв.⁻¹. При амплітуді 28 мм збільшення відбувається на 0,3...14% при 350 хв.⁻¹, на 3...19 % за 400 хв.⁻¹ і 1,6...13 % за 450 хв.⁻¹. Малий рівень подачі сприяє більш рівномірному розподілу зернової маси по поверхні решета, тим самим забезпечуючи покращення поділу суміші. Із збільшенням обсягу подачі, збільшується і товщина сепарованого шару, знижується ймовірність контакту проходових зернівок з отворами решіт. Краще розділення зернової суміші при використанні пневмоподушки відбувається за рахунок скорочення шкідливих вібрацій, що дозволяє забезпечити прогнозований рух зернівки за решетом. Найбільший ефект від використання заявленого технічного рішення порівняно з базовим варіантом підвіски решітного стану спостерігається при високій частоті та амплітуді коливань, а також при збільшенні подачі зернового вороху на поверхню решета.





б)

Рисунок 2.6 – Графіки залежності коефіцієнта сепарації від подачі при амплітуді коливань 28 мм:

а – базовий варіант; б – пропонуванний варіант;

1 – 350 хв.⁻¹; 2 – 400 хв.⁻¹; 3 – 450 хв.⁻¹.

Узагальнюючи отримані результати можна стверджувати, що використання в конструкції зерноочисної машини пневмоподушки дозволить інтенсифікувати процес сепарації в порівнянні з базовою схемою кріплення незалежно від режимних параметрів роботи при будь-якій потрібній продуктивності, а саме технічне рішення можна рекомендувати для впровадження в конструкцію решітних зерноочисних машин.

Висновки по розділу

Таким чином, для проведення експериментальних досліджень, як вихідний матеріал було взято купу озимої пшениці. Конструкція кріплення решітного стану до рами зерноочисної машини у вигляді пневмоподушки AIRKRAFT 2B-220 дає найкращі показники сепарування зернової суміші. Із збільшенням частоти коливань решітного стану з 300 хв.⁻¹ до 450 хв.⁻¹ ефективність сепарації, що

визначається значенням коефіцієнта сепарації збільшується від 3,3 до 17,8 % при амплітуді 16 мм і від 5,5 до 14,3 % при амплітуді 28 мм в порівнянні з решітним станом, підвішеним на плоских пружних підвісках.

Використання запропонованого варіанту кріплення решітного стану на пневмоподушці дозволяє збільшити ефективність сепарації порівняно з базовим варіантом при амплітуді 16 мм на 1...10% при частоті 350 хв.⁻¹, на 3...18 % за 400 хв.⁻¹ і 3...20 % за 450 хв.⁻¹. При амплітуді 28 мм збільшення відбувається на 0,3...14 % за 350 хв.⁻¹, на 3...19 % за 400 хв.⁻¹ і на 1,6 ... 13% при 450 хв.⁻¹. Малий рівень подачі сприяє більш рівномірному розподілу зернової маси по поверхні решета, тим самим забезпечуючи покращення поділу суміші. Із збільшенням обсягу подачі збільшується і товщина шару, що сепарується, знижується ймовірність контакту проходових зернівок з отворами решіт. Найкращий поділ зернової суміші при використанні пневмоподушки відбувається за рахунок скорочення шкідливих вібрацій, що дозволяє забезпечити прогнозований рух зернівки по решету.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці на підприємстві.

Охорона праці в сільському господарстві – це система заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників. Вона регламентується нормами, затвердженими наказом Мінсоцполітики, і включає обов'язкове проведення інструктажів, медоглядів, забезпечення спецодягом та контроль за справністю техніки [7].

1. Ключові нормативні вимоги. Основою для підприємства є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Вони визначають обов'язки керівника щодо створення безпечних умов:

- призначення відповідальних осіб за кожний напрямок робіт (агрономія, тваринництво, інженерія);
- забезпечення працівників якісним спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту;
- проведення попередніх (при прийомі) та періодичних медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах.

2. Безпека при експлуатації техніки. Найбільше ризиків пов'язано з роботою тракторів, комбайнів та причіпного обладнання:

- до керування допускаються лише особи, які мають посвідчення відповідної категорії та пройшли інструктаж;
- щоденний контроль: перед виїздом обов'язково перевіряються гальма, рульове управління, освітлювальні прилади та гідравліка;
- забороняється технічне обслуговування або ремонт рухомих механізмів під час їх роботи.

3. Пожежна та електробезпека.

- всі приміщення (зерносклади, майстерні, склади паливно-мастильних матеріалів) повинні бути укомплектовані первинними засобами пожежогасіння;

- проведення вогневих робіт (зварювання, різання) дозволяється лише після оформлення спеціального наряду-допуску.

- регулярний огляд електроустановок, заземлення обладнання та недопущення використання саморобних електроприладів.

4. Обов'язкова документація. Щоб уникнути штрафів та відповідальності, на кожному агропідприємстві мають бути розроблені документи з охорони праці:

- накази про призначення відповідальних осіб;
- положення про службу охорони праці (обов'язково для штату понад 50 осіб);

- журнали реєстрації інструктажів (вступний, первинний, повторний) та інструкції з безпеки для кожної професії.

Для забезпечення ефективного функціонування системи управління безпекою на підприємстві використовуйте Рекомендації Держпраці щодо безпечного проведення масових сезонних робіт.

3.2. Заходи з охорони праці під час роботи із зерноочисними машинами.

Охорона праці під час роботи із зерноочисними машинами (сепараторами, тощо) є критично важливою через високий ризик травматизму від рухомих механізмів, ураження струмом та високу запиленість. Основні заходи безпеки спрямовані на запобігання контакту персоналу з робочими органами та забезпечення справності обладнання [7].

Основні заходи з охорони праці:

1) Організаційні заходи: допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та інструктаж з охорони праці; проведення вступного, первинного та регулярних повторних інструктажів; працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям, респіраторами (для захисту від пилу), захисними окулярами та рукавицями; заборонено допускати до роботи сторонніх осіб; на вході до зерноочисних комплексів вивішують таблички «Вхід стороннім заборонено».

2) Технічні заходи та вимоги до обладнання: всі обертові частини (пасові, ланцюгові передачі, вали) повинні мати надійні захисні огороження, експлуатація машин без них суворо заборонена; електродвигуни та корпуси машин повинні бути заземлені; перед запуском машини оператор зобов'язаний подати звуковий сигнал; ремонт, змащування, очищення та регулювання проводяться тільки після повної зупинки машини та відключення її від електромережі; на рубильниках вивішують плакат «Не вмикати! Працюють люди!».

3) Безпека під час експлуатації: заборонено працювати із знятими захисними кожухами; заборонено чистити робочі органи (решета, скатні дошки) руками під час роботи машини, для цього використовують спеціальні скребки з довгими ручками; заборонено надягати приводні ремені на шківи при працюючому двигуні; заборонено ставати ногами на працюючу машину; заборонено вигрібати зерно зі шнеків руками; не допускати перегріву підшипників (вище 60 °C).

4) Пожежна безпека та запиленість: регулярно очищати машину від пилу, зернових залишків та соломи для запобігання самозаймання; магніти для вловлювання металевих домішок потрібно чистити мінімум раз на зміну, фіксуючи результати в журналі; світильники в приміщенні повинні бути герметичними (вибухобезпечними).

Висновки по розділу

Таким чином, при дотриманні цих правил під час роботи із зерноочисними машинами дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму, який найчастіше виникає через спроби очистити механізм на ходу або відсутність огорожень.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Для того, щоб оцінити річний економічний ефект від удосконалення решітного стану машини ОЗФ-80/40/20 ми використали методику розрахунку наведену в [11] та у таблиці 4.1 представлені основні вихідні дані.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічної оцінки

Показники	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Вартість машини, грн.	2160000	2322000
Додаткові капітальні вкладення, грн.	-	162000
Кількість агрегатів	1	1
Термін експлуатації, років	8	8
Тривалість роботи, днів	12	12
Продуктивність, т/год.	15	15
Запланований об'єм очищення зерна, т	2 448	2 448
Вихід продукту, %:		
- продовольче зерно;	75	85
- фуражне зерно.	25	15
Вихід продукту, т:		
- продовольче зерно;	1836	2080,8
- фуражне зерно.	612	367,2
Коефіцієнт використання часу зміни	0,85	0,85
Кількість операторів, чел.	1	1
Тарифна ставка оператора, грн./люд.-год.	124,74	124,74
Тарифна ставка з надбавкою за шкідливі умови праці, грн./люд.-год.	139,70	129,72
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	14	14
Вартість електроенергії, грн./кВт-год.	15,0	15,0
Ціна продукції (продовольче зерно), грн./т	14580	14580
Ціна продукції (фуражне зерно), грн./т	10800	10800
Відрахування на реновацію, %	14,3	14,3
Відрахування на поточний ремонт та ТО, %	10	10
Облікова річна ставка відсотку за кредитами банку або вкладу до банку, %	16	16
Тривалість зміни, год.	8	8
Кількість змін роботи на добу	2	2

В ході розрахунків за методикою [11] отримані наступні результати: удосконалена машина дозволяє отримати більш високий вихід продовольчого зерна (85 %) проти базової (75 %). Це забезпечує одержання додаткового прибутку від реалізації в обсязі 926334 грн., оскільки удосконалена конструкція забезпечує більш ефективну сепарацію зернового вороху.

Відповідно до [11] проведено розрахунок показників економічної ефективності. Річний економічний ефект від використання зерноочисної машини з удосконаленим решітним станом визначається різницею додаткової виручки від реалізації продукції, що дорівнює 925,34 тис. грн. та додаткових виробничих витрат, рівних 43,281 тис. грн., тобто річний економічний ефект в нашому випадку становитиме 882,06 тис. грн.

Термін окупності додаткових капітальних вкладень T визначимо за формулою:

$$T = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\gamma K_D}{E_P}\right)}{\ln(1 + \gamma)}, \quad (4.1)$$

де γ – коефіцієнт, що відображає облікову річну ставку відсотка за кредитами банку або вкладу в банк (0,16); K_D – додаткові капітальні вкладення, грн.; E_P – річний економічний ефект, грн.

Економічний ефект за термін служби зерноочисної машини визначимо за формулою складних відсотків:

$$E = E_P \frac{(1 + \gamma)^t - 1}{\gamma}, \quad (4.2)$$

де t – термін служби зерноочисної машини, років.

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень E_T , що показує середню річну відносну величину приросту суми економічного ефекту, визначаємо за формулою:

$$E_T = \sqrt[t]{\frac{E}{K_D}} - 1. \quad (4.3)$$

Використання удосконаленої зерноочисної машини є економічно доцільним, що підтверджується даними проведеними розрахунками. Реалізація пропонованої технічної розробки дозволяє отримати річний економічний ефект в сумі 882,06 тис. грн. за рахунок підвищення ефективності сепарації зернового вороху та скорочення витрат на виплати працівникам за шкідливі умови праці.

Удосконалена зерноочисна машина за нормативний термін експлуатації (вісім років) забезпечить отримання економічного ефекту в обсязі 11693,72 тис. грн. Термін окупності капітальних вкладень становитиме 0,2 років. Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень дорівнює 0,707, що більше коефіцієнту, який відображає облікову річну ставку відсотку за кредитами в банку чи вкладу у банку, який дорівнює 0,16.

Висновки по розділу

Таким чином, економічний ефект від використання удосконаленої зерноочисної машини досягається за рахунок підвищення ефективності сепарації зерна, а також економії фонду оплати праці через поліпшення умов цій праці операторів.

Запропоноване удосконалення решітного стану зерноочисної машини забезпечує отримання соціального ефекту, що виражається у зниженні ймовірності виникнення професійних захворювань операторів через шкідливий вплив вібрації та шуму на робочому місці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, за проведеними нами дослідженнями даного дипломного проекту ми визначили наступні узагальнюючі висновки.

Здійснено аналіз конструкцій зерноочисних машин, в результаті якого визначено, що для поліпшення якості сепаруючих пристроїв необхідне зниження вібрації несучих конструкцій. Покращення вібрації в зерноочисних машинах можливо шляхом удосконалення приладів підвішування решітних станів.

Коливання рами зерноочисної машини збільшують фактичну амплітуду коливань решітних корпусів до 40 % в порівнянні з номінальною і суттєво знижують якість сепарування. Для підвищення надійності зерноочисних машин та їх вібраційної безпеки, покращення якості сепарування необхідне зниження вібраційних переміщень несучих конструкцій. Покращення вібраційних характеристик зерноочисних машин можливо за рахунок удосконалення пристроїв підвісу решітинах станів.

Експериментально доведено, що використання запропонованого варіанту кріплення решітного стану на пневмоподушці AIRKRAFT 2B-220 дозволяє збільшити коефіцієнт сепарації в порівнянні з базовим варіантом при амплітуді 16 мм на 1...10 % при частоті 350 хв.⁻¹, на 3...18 % при 400 хв.⁻¹ та на 3...20 % за 450 хв.⁻¹. При амплітуді 28 мм збільшення відбувається на 0,3...14 % за 350 хв.⁻¹, на 3...19 % за 400 хв.⁻¹ і 1,6...13 % за 450 хв.⁻¹. Кращий поділ зернової суміші при використанні пневмоподушки відбувається за рахунок скорочення шкідливих вібрацій, що дозволяє забезпечити прогнозований рух зернівки по решеті.

В дослідженнях наведені заходи з охорони праці під час роботи із зерноочисними машинами. При дотриманні цих правил можна мінімізувати ризики виробничого травматизму, який найчастіше виникає через спроби очистити механізм на ходу або відсутність огорожень.

Проведені розрахунки економічної ефективності удосконаленої розробки. Економічний ефект від використання удосконаленої зерноочисної машини досягається за рахунок підвищення ефективності сепарації зерна. Термін окупності капітальних вкладень становить 0,2 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксьонов І.І. Моделювання руху решітного стану на пневмоподушці. *Вісник ВНАУ*. 2021. Т. 14. № 1 (68). С. 11–17.
2. Биков В.С. Визначення кінематичних параметрів решета. *Техніка в сільському господарстві*. 1997. № 5. С. 16–18.
3. Биков В.С. Підвищення продуктивності плоских решіт. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1991. № 1. С. 58–59.
4. Бутовченко А.В. Сучасні технології та технічні засоби для очищення насіннєвого зерна. *Сільськогосподарські машини та технології*. 2012. № 3. С. 29–32.
5. Волошин Н.І. Оптимізація періодичності очищення решіт зерноочисних машин. *Техніка в сільському господарстві*. 1993. № 4. С. 14–15.
6. Заїка П.М. Динаміка вібраційних зерноочисних машин. Київ : Вища школа, 1997. 277 с.
7. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 22.01.2026).
8. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
9. Сільськогосподарські машини. Електронний підручник. URL: <https://rafk.if.ua/ebook/sgmash/Index.htm>. (Дата звернення: 20.02.2026).
10. Тарасенко О.П. Сучасні машини для післязбиральної обробки зерна та насіння. Київ : Наукова думка, 2008. 232 с.
11. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.
12. Gievsky A.M., Orobinsky V.I., Tarasenko A.P., Chernyshov A.V., Kurilov D.O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of

agricultural crops seeds. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic resource. 2018. 042035.

13. Kharitonov M.K., Gievsky A.M., Orobinsky V.I., Chernyshov A.V., Baskakov I.V. Studying the design and operational parameters of the sieve module of the grain cleaning machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 012021.