

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **Андрій ВОЙТІК**
“ ____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Бондаренку Ярославу Миколайовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів багатобарабанного молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайну»

керівник роботи _____ **Кутковецька Т.О., к.е.н., доцент** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“ 14 ” листопада 2024 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 22.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; напрацювання науковців щодо конструкцій робочих органів зернозбиральних комбайнів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв зернозбиральних комбайнів; теоретичні та експериментальні дослідження процесу обмолоту і сепарації зерна; охорона праці; економічна ефективність застосування нової розробки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження;

РЕФЕРАТ

Бондаренко Я.М. Обґрунтування параметрів багатобарабанного молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайну (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 62 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 44 рисунки, 1 таблиця, 21 джерело літератури).

Дипломна робота присвячена питанню підвищення ефективності процесу обмолоту та сепарації хлібної маси молотильно-сепарувального пристрою (МСП). Досліджено процес дії бичів молотильних барабанів на хлібну масу, вплив параметрів та режимів роботи барабанів на процес обмолоту та сепарації зерна в МСП.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обмолоту та сепарації зерна багатобарабаним МСП, його параметри та режими роботи.

Предмет дослідження – закономірності впливу конструкційно-технологічних параметрів багатобарабанного МСП на ефективність обмолоту і сепарації зерна.

Мета роботи – підвищення ефективності робочих процесів обмолоту та сепарації зернової маси зернозбиральними комбайнами шляхом удосконалення та використання багатобарабанної конструкції молотильно-сепаруючого пристрою з оптимальними конструкційно-технологічними параметрами роботи, здатними забезпечити необхідні агротехнічні вимоги.

Ключові слова: ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИЙ КОМБАЙН, МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, БАРАБАНИ, ПАРАМЕТРИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ.....	7
1.1. Аналіз конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв зернозбиральних комбайнів.....	7
1.2. Аналіз наукових досліджень процесу обмолоту та сепарації зерна МСП зернозбиральних комбайнів.....	14
1.3. Мета і завдання дослідження.....	17
Висновки по розділу.....	18
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
2.1. Вплив параметрів та факторів на процес обмолоту і сепарації.....	19
2.2. Ймовірність травмування зерна в молотильному зазорі МСП.....	23
2.3. Моделювання процесу обмолоту і сепарації зерна в молотильному зазорі МСП.....	25
Висновки по розділу.....	31
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
3.1. Опис експериментальної установки.....	32
3.2. Вплив конструкційно-технологічних параметрів роботи багатобарабанного МСП на показники якості обмолоту та сепарації хлібної маси кожним із трьох барабанів.....	34
3.3. Дослідження травмування насіння.....	47
Висновки по розділу.....	50
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
4.1. Організація охорони праці в господарстві.....	52
4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі із зернозбиральним комбайном.....	53
Висновки по розділу.....	54
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ...	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

ВСТУП

Виробництво зерна було і залишається одним із головних завдань сільського господарства. Збирання зернових культур є найбільш відповідальним і напруженим періодом за термінами та обсягом робіт, на неї припадає значна частина всіх трудовитрат. Збирання врожаю – завершальна операція технологічного процесу вирощування зернових.

Створення нових МСП йде переважно по шляху вдосконалення традиційних принципів і ускладнення базових конструкцій з одночасним збільшенням габаритних розмірів. Все це повною мірою відноситься і до МСП, від поліпшення роботи яких залежить ефективність виконання технологічних функцій сепаруючих систем та якістю роботи всього зернозбирального комбайна в цілому. Однак за більш ніж вікову історію розвитку та безперервних експериментально – теоретичних досліджень молотильний апарат не зазнав істотних конструкційних змін і кінематичних параметрів. Більш ефективне використання цих результатів неможливе, тому що вони отримані за різних агрофонах, тому багато в чому неповні, часто суперечливі і з труднощами піддаються теоретичним узагальненням.

Молотильно-сепарувальні пристрої є одними з головних об'єктів, що визначають продуктивність зернозбиральних комбайнів та обумовлюють якісні показники комбайна в цілому. Інтенсифікація процесів обмолоту хлібної маси та сепарації зерна з грубого вороху в комбайнах з підвищеною продуктивністю призводить до збільшення виходу соломистих фракцій на очистку, що веде до її перевантаження та зростання втрат зерна.

Тому, вдосконалення МСП, обґрунтування раціональних параметрів та режимів її роботи є актуальною проблемою і важливим джерелом зменшення затрат на збирання.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв зернозбиральних комбайнів.

Аналіз конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв показує, що для обмолоту сільськогосподарських культур розроблено ряд пристроїв, у яких в якості основного обмолочуючого органу використані вальці, бітери, молотки, шнеки, лопаті, прутки, диски, барабани [1, 5, 10].

Але із всіх відомих конструкцій широке використання отримали лише МСП, яких основним робочим елементом є барабан (ротор) [9, 10].

Розглядаючи всю гамму варіантів конструкцій барабанних (роторних) МСП за механіко-технологічними принципами обмолоту і сепарації хлібної маси, можна розділити на наступні групи (рис. 1.1) за конструкцією робочого молотильного елемента-штифтові, бильні; за кількістю молотильних барабанів-однобарабанні, двобарабанні і багатобарабанні; за способом переміщення маси в МСП – тангенціальні, аксіальні, поперечно зміщені. Із відомих конструкційно-технологічних схем обмолоту та сепарації зерна, конструкції МСП сучасних комбайнів можна розділити на три основних типи: класичну, роторну і комбіновану [7].

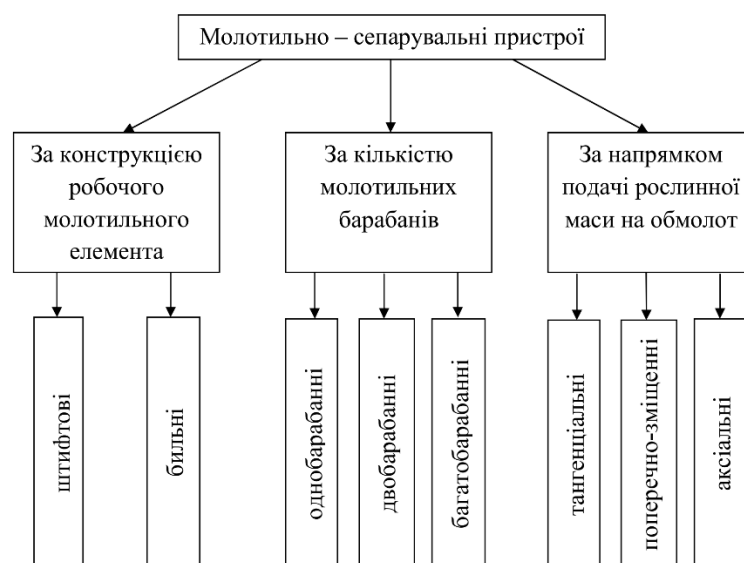


Рисунок 1.1 – Класифікація молотильних пристроїв

Конструкція МСП з класичною схемою обмолоту складається з обертового барабана і нерухомої деки. За конструкцією барабани бувають штифтові і бильні (рис. 1.2). У штифтових МСП на барабанах закріплені штифти-зуби, а в бильних – рифлені біла – бичі. У штифтових МСП деко має зуби, які подібні зубам, що розміщені на барабані. Конструкція дека може бути Молотильно-сепарувальні пристрої За конструкцією робочого молотильного елемента За кількістю молотильних барабанів За напрямком подачі рослинної маси на обмолот штифтові бильні однобарабанні двобарабанні багатобарабанні тангенціальні поперечно-зміщенні аксіальні секційною: крайні секції дека – зубові, середня – решітна. Дека бильного МСП, як правило, прутково-планчатє.

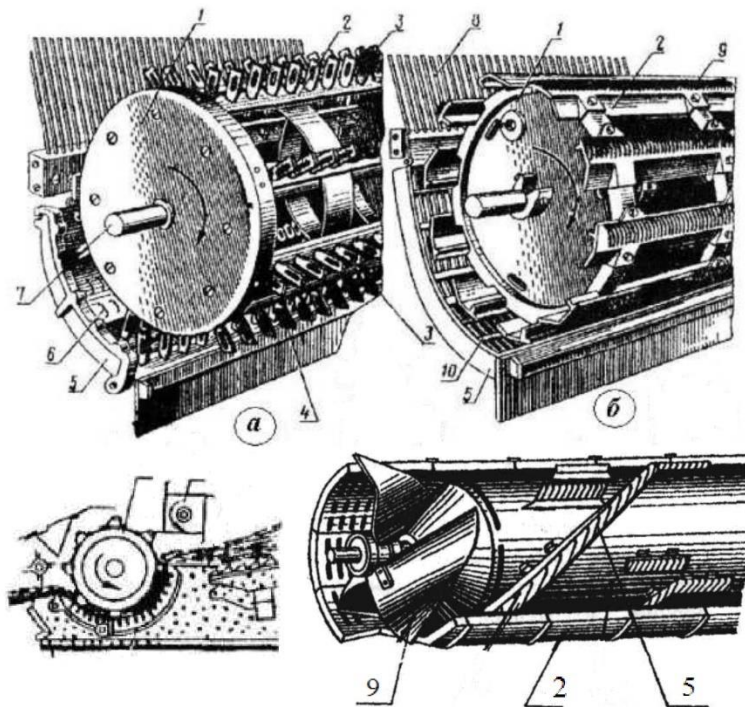


Рисунок 1.2 – Схеми обнобарабанних – декових молотильних пристроїв:
а – штифтового; б – бильного; 1 – барабани; 2 – деки; 3 – штифт дек; 4 – штифт барабана; 5 – бичі; 6 – поперечна планка; 7 – приймальні бітери; 8 – відбійний бітер; 9 – крильчатка.

Штифтові МСП інтенсивніше ніж бильні вимолочують зерно, особливо при підвищеній вологості рослинної маси. Однак вони менш універсальні, більше перебивають соломку, через що збільшується навантаження очистки подрібненими домішками соломи.

МСП з тангенціальною подачею хлібної маси в робочий зазор між барабаном і деком (або, як прийнято вважати, з “класичною схемою обмолоту”) забезпечують практично повний обмолот зерна з мінімальним його травмуванням. Висока швидкість прискорення хлібної маси і гранично мала довжина її шляху (експозиція руху) в молотильному зазорі не дає можливості забезпечити повну сепарацію зерна. За даними багатьох джерел [11], сепарація зерна крізь підбарабання складає 75-90%.

Особливістю аксіально-роторних МСП є те, що в них бильний молотильний апарат і клавішний соломотряс замінені одним робочим органом – ротором. Вимолот зерна здійснюється переважно за рахунок протягування хлібної маси бичами в робочому зазорі між ротором і підбарабанням [1, 3, 16]. Час перебування хлібної маси в молотильному зазорі і кількість впливів на хлібну масу в роторних пристроях у 4-10 разів більше, ніж у МСП з класичною схемою обмолоту, що дає змогу забезпечити більш сприятливі умови для обмолоту і сепарації зерна в одному пристрої. За способом подачі хлібної маси в ротор їх можна розділити на кілька типів (рис. 1.3) [3, 16].

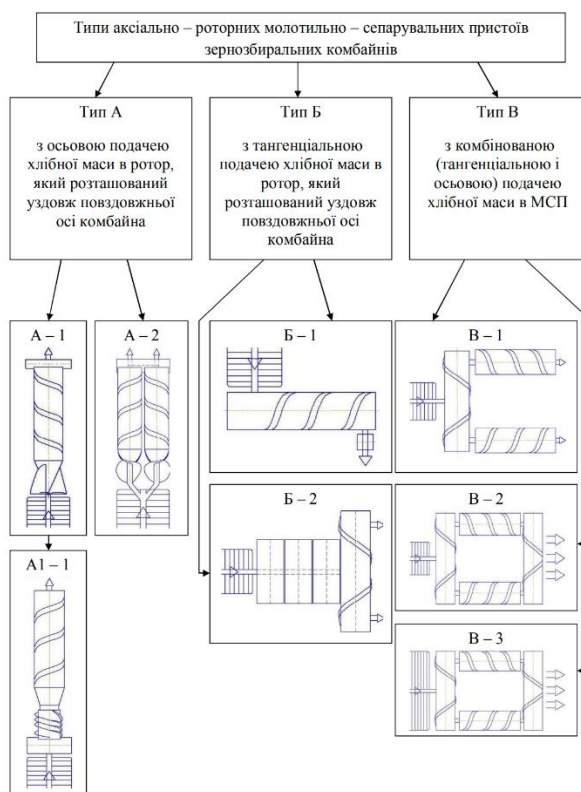


Рисунок 1.3 – Класифікація аксіально-роторних МСП

А – 1 односторонні; А1 – 1 з приймально-подавальним бітером, розташованим перед ротором; А – 2 двохсторонні з паралельним розташуванням ротора; Б – 1 однороторні, з односторонньою подачею маси в ротор; Б – 2 однороторні, з центральною подачею маси ротор; В – 1 з тангенціальною подачею в центральний поперечний ротор із зсувом маси в сторони і осьюовою подачею в два поздовжніх бокових ротори; В – 2 з односторонньою тангенціальною подачею маси в поперечний ротор із зсувом маси в сторони і осьюовою подачею в два поздовжніх бокових ротора, із зсувом маси в поперечний ротор; В – 3 з центральною тангенціальною подачею маси в поперечний ротор із зсувом маси в сторони і осьюовою подачею в два поздовжніх бокових ротори, із зсувом маси в поперечний ротор.

Хлібна маса в комбайнах з аксіальним МСП може подаватись, як в аксіальному (наприклад, як у комбайнах Case IH, John Deere, New Holland, Полесьє, КРТ – 10 “Дон Ротор”), так і в тангенціальному напрямках (наприклад, як у комбайнах Claas, John Deere, New Holland) [7, 9, 10]. Поздовжньо розміщені ротори з аксіальною подачею хлібної маси (рис. 1.3, тип А) мають складні конструкції для прийому і зміни напрямку руху хлібної маси, яка подається на обмолот. В комбайнах фірми “Інтернейшел Харвестер” цю задачу виконує крильчатка (рис. 1.4, тип А – 1), яка складається із трьох встановлених під крутим кутом лопатей; в комбайнах “New Holland” – багатозахідні шнеки (рис. 1.3, тип А 1 – 1). Крім того, такі аксіальні МСП повинні мати потужний механізм привода ротора з кутовою передачею потужності від двигуна до ротора.

Механізм привода ротора з тангенціальною подачею хлібної маси (рис. 1.3, тип Б) простіший за конструкцією, але при поперечному розміщенні ротора його довжина обмежена шириною комбайна. Здвоєні ротори (рис. 1.3, тип А – 2) через розділення хлібної маси на два потоки ускладнюють конструкцію і технологічний процес роботи МСП.

У комбайнах з класичною схемою обмолоту для повного відділення зерна від соломи раніше використовувався, в основному, клавішний соломотряс, але з часом появились комбіновані системи обмолоту і сепарації зерна. Слід відмітити систему

сепарації грубого вороху ROTO PLUS комбайнів CLAAS, яка поєднує систему обмолоту та сепарації APS і двох аксіально-роторних соломо – сепараторів (рис. 1.4) [9].

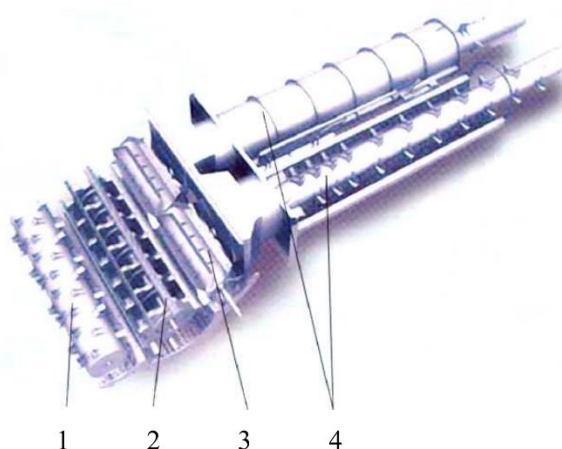


Рисунок 1.4 – Система сепарації грубого вороху ROTO PLUS комбайнів CLAAS серії LEXION 600, 580, 570, 570 C:

- 1 – барабан-прискорювач; 2 – молотильний барабан; 3 – відбійний бітер;
4 – аксіально-роторні соломо сепаратори.

У високопродуктивних моделях комбайнів серії LEXION фірми CLAAS і серії CTS фірми JOHN DEERE застосовуються комбіновані МСП, в яких функцію соломотряса виконують роторні соломо – сепаратори з тангенціальною подачею [9, 11]. Комбайни серії LEXION фірми CLAAS і серії CTS фірми JOHN DEERE легко адаптуються для обмолоту всіх видів культур. Обмолочений матеріал з молотильного барабана надходить до роторів за допомогою бітера, який не відбирає матеріал, а перекидає його через себе. Таке спрямування матеріалу дало змогу покращити якість зерна та соломи за рахунок меншого травмування.

У конструкції МСП комбайнів MASSEY FERGUSON серії BETA (рис. 1.5) для збільшення пропускної здатності МСП введено додатковий пальцевий бітер перед транспортером похилої камери, що забезпечує рівномірний розподіл потоку маси по ширині похилої камери, рівномірну її подачу в молотильний барабан, ефективний обмолот і сепарацію насіння [8].

Великий молотильний барабан діаметром 600 мм менше пошкоджує соломі. На відміну від інших комбайнів із ротаційним соломо – сепаратором у конструкціях МСП комбайнів серії ВЕТА підбарабання ротаційного сепаратора має два положення – активне і пасивне. У разі, коли немає необхідності для диференціації обмолоту, підбарабання повертається і розташовується над сепаратором. Клавіші соломотряса мають закритий тип з вертикальними штампковими решітками для ступеневого поділу клавіш.

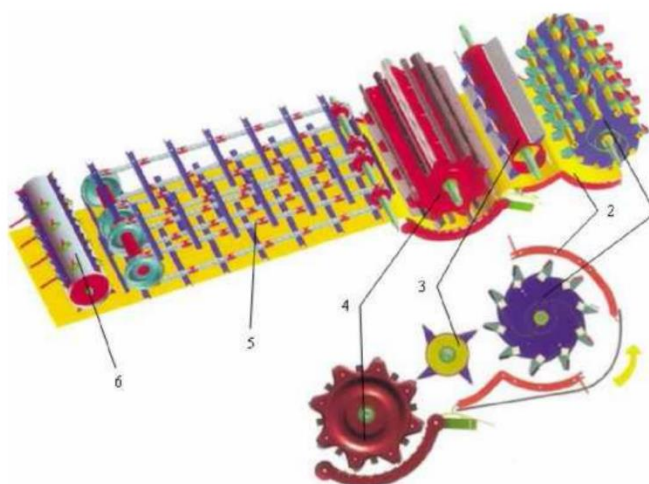


Рисунок 1.5 – Схема молотильно-сепарувального пристрою комбайнів MASSEY FERGUSON серії ВЕТА:

1 – сепаратор; 2 – підбарабання; 3 – відбійний бітер; 4 – молотильний барабан;
5 – транспортер похилої камери; 6 – пальцевий бітер.

На відміну від інших комбайнів з ротаційним соломо-сепаратором в конструкції МСП комбайнів ВЕТА підбарабання ротаційного сепаратора має два положення активне і пасивне. У випадку, коли немає необхідності диференціювати обмолот, підбарабання повертається і розташовується над сепаратором [8].

Відомі конструкції роторних сепараторів, у яких для виділення зерна із соломи використовують обертальні ротори, під якими розміщені решітчасті деки (рис 1.6). В сепараторах кількість роторів може бути різною: від двох – трьох до восьми і більше. У комбайнах “Командор 228” фірми “Клаас” у молотарці з класичною схемою обмолоту використано сепаратор соломи, який має вісім роторів із ступінчастим приводом, які очісують соломі. Частота обертання роторів складає

810, 650, 540 і 430 хв⁻¹. Ротори для витрушування зерна соломи добре очісують і перевершують соломку, але сильно перебивають її, тим самим ускладнюють роботу вітро-решітної очистки [5, 8].

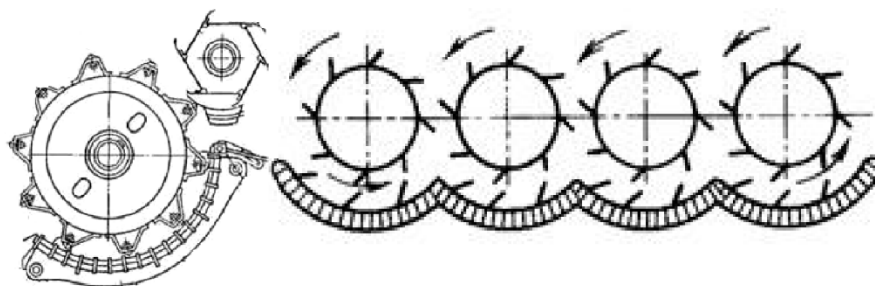


Рисунок 1.6 – Схема МСП комбайна “Командор 228” фірми “Клаас”

Із відомих конструкційно-технологічних схем обмолоту та сепарації зерна слід відмітити конструкції МСП, в яких використаний диференційний спосіб обмолоту.

Особливість диференційного способу обмолоту хлібної маси (двофазного обмолоту) [6, 7] полягає в тому, що для обмолоту та сепарації зерна вибираються більш ощадні режими роботи молотильних барабанів-більш “м’який” режим роботи першого барабана і більш жорсткі режими роботи наступних барабанів (роторів), тим самим досягається зниження кількості травмованого зерна, покращується умови сепарації зерна.

Відомі конструкції щодо використання декількох барабанів у конструкціях комбайнів закордонного виробництва. Цими конструкціями передбачається підвищення продуктивності молотильних апаратів і, перш за все, за рахунок сепарації зерна, вони включають різні комбінації барабанів і дек.

Для поліпшення сепарації, часткового домолоту і підвищення продуктивності на комбайнах L517MCS, L521MCS і L624MCS фірми Фіатагрі встановлені за молотильним барабаном два сепарувальних барабана з конічними штифтами (рис. 1.7) системи Multi Crop Separation [3, 5].

Фірмою CLAAS використано молотильно-сепарувальний пристрій, в якому перед молотильним барабаном встановлений барабан-прискорювач хлібної маси (рис. 1.8, а) [9].

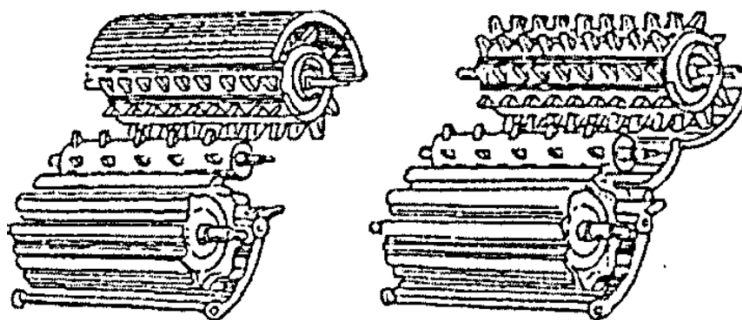


Рисунок 1.7 – МСП комбайнів Фіатаґрі

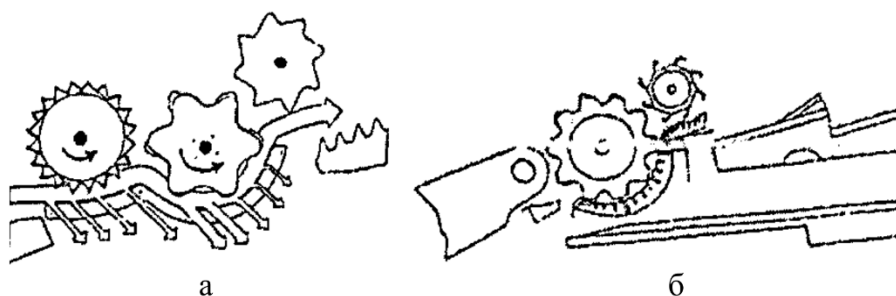


Рисунок 1.8 – Схеми МСП комбайнів:

а – CLAAS; б – JOHN DEERE

Конструкція молотильно-сепарувального пристрою, що забезпечує м'який обмолот, збереження якостей зерна і зменшення його травмованості, розроблена фірмою JOHN DEERE для комбайнів серії Максимітер. Вона включає (рис. 1.8, б) два молотильних барабана діаметром 660 мм і 450 мм, з можливістю регулювання частоти їх обертання в широких межах [1, 11].

1.2. Аналіз наукових досліджень процесу обмолоту та сепарації зерна МСП зернозбиральних комбайнів.

Технологічні і енергетичні показники процесу обмолоту зерна в молотильно-сепарувальному пристрої в значній мірі залежать від швидкості переміщення хлібної маси в робочому зазорі між барабаном і декою.

Питанню визначення і обґрунтування швидкості руху хлібної маси в робочому зазорі між барабаном і декою значну увагу приділялась у роботах Горячкіна В.П. [4], Назарова Г.І. [4], Алфьорова С.А. [1], Летошнева М.Н. [4], Антипина В. Г. [5], Ліпковича Е.І. [14], Василенка І.Ф. [2] та інших дослідників.

У теорії, барабана В.П. Горячкін [4] наводить основне рівняння роботи молотильного агрегату у вигляді:

$$75N = J\omega \frac{d\omega}{dt} = \frac{mV^2}{1-f}$$

де N – потужність на обмолот, кВт; J – момент інерції, кг/м²; ω – кутова швидкість, рад/с; $\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення, с⁻¹; m – секундна подача, кг/с; V – колова швидкість барабана, м/с; f – коефіцієнт перетирання.

У рівнянні він пов'язав середню потужність та обмолот з потужністю двигуна. Рішення рівняння дає наближений момент інерції барабана.

Автор [17] встановив, залежність між крутним моментом двигуна комбайна і моментом барабана інерції:

$$M_{ДВ} - M_c = J \frac{d\omega_1}{dt},$$

де $M_{ДВ}$ – крутний момент двигуна, об/хв; M_c – момент сил опору, Нм; J – момент інерції барабана, кг/м²; $\frac{d\omega_1}{dt}$ – кутове прискорення барабана с⁻¹.

Автор [14], розглядаючи обмолот і сепарацію як детерміновані і імовірнісні процеси, приводить систему рівнянь, що описують ці процеси у функції часу проходження маси через робочий зазор.

Кількість необмолочених зерен дорівнює:

$$X_H(t) = X_1 e^{-\beta t},$$

а функція обмолоту:

$$X(t) = X - X_1 e^{-\beta t},$$

де X_H – кількість необмолочених зерен на підбарабанні (недомолот), кг; X_1 – кількість необмолочених зерен після першого удару бича, кг; β – коефіцієнт інтенсивності обмолоту, кг; t – час перебування обмолоченої маси в молотильному пристрої, с; X – загальна кількість зерна, в молотильному пристрої, кг; X, Z – кількість невимолоченого зерна в молотильному зазорі і зерна, яке пройшло через підбарабання відповідно, кг.

Кількість обмолочуваної маси зерна на підбарабанні має вигляд:

$$Y(t) = \frac{\beta X_1}{\beta - \gamma} (e^{-\gamma t} - e^{-\beta t}) + (X - X_1)e^{-\gamma t},$$

де γ – коефіцієнт інтенсивності сепарації.

А кількість зерна, що виділяється, дорівнює:

$$Z(t) = \frac{X_1}{\beta - \gamma} [\beta(1 - e^{-\gamma t}) - \gamma(1 - e^{-\beta t})](1 - e^{-\gamma t})(X - X_1).$$

Автором [5] доводиться, що закономірність виділення зерна через підбарабання виражається експоненційною залежністю:

$$\xi = Ke^{-\mu_1 L_n},$$

де ξ – відносний схід зерна з розгорнутої довжини підбарабання; K , μ_1 – коефіцієнти, отримані експериментально.

Для всіх подач хлібної маси параметр $K=0,85$, хоча в інших джерелах [5] $K=1$. Автор пояснює це тим, що перша зона сепаратора є несталою зоною сепарації і в ній експонентний закон діє не відразу.

Цим же автором доведено, що зі збільшенням питомої подачі соломинок коефіцієнт сепарації μ_n різко зменшується відповідно до залежності:

$$\mu_n = V_1 e^{-v q_c},$$

де V_1 , v – досліджувані коефіцієнти.

Автором [12] встановлено, що показник недомолоту δ залежно від подачі q можна описати у вигляді:

$$\delta = A_q q^{m_1},$$

де A_q – вимолот, що залежить від подачі; m_1 – емпіричний коефіцієнт.

У роботах [2] вперше встановив наявність вібрації в технологічному процесі обмолоту бильним барабаном, він показав, що ударом виділяється 75% зерна, а решта обмолочується при протягуванні хлібної маси через молотильний зазор.

Авторами [18] розглянуто процес обмолоту як явище резонансу і автоколивань в МСП. Вони з'ясували, що прискорення визначає виділення зерна з колоса, а необхідну його величину можна отримати за допомогою вібрації.

Автор [8] вважає, що більшість зерен безпосередньо на собі не відчують удару, а виділяються внаслідок надання їм прискорення через стрижень колоса, який має певну жорсткість.

Аналіз результатів досліджень показує, що для опису процесу обмолоту отримано ряд емпіричних залежностей, апроксимованих різними залежностями, в яких використано, в основному, експериментально-теоретичні методології досліджень. Звідси значна кількість варіантів рішень, багато з яких можна використати у вузькому інтервалі варійованих факторів, і вони дають неповну відповідь на поставлені задачі. Технологічна модель роботи молотильного барабана в більшості випадків представлена функціональною залежністю величини вимолоту, сепарації і дроблення зерна від параметрів барабана і мало пов'язана з вихідними фізико-механічними властивостями рослинного матеріалу, який обмолочується. Це свідчить про те, що наявні теоретичні розробки більше носять локальний характер і можуть бути застосовані для оптимізації тільки окремих параметрів і режимів роботи барабанних молотильно-сепарувальних пристроїв сучасних комбайнів [1, 10] і ці дослідження необхідно продовжити.

1.3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності робочих процесів обмолоту та сепарації зернової маси зернозбиральними комбайнами шляхом удосконалення та використання багатобарабанної конструкції молотильно-сепаруючого пристрою з оптимальними конструкційно-технологічними параметрами роботи, здатними забезпечити необхідні агротехнічні вимоги.

У відповідності до поставленої мети було визначено основні задачі, що необхідно вирішити:

- провести аналіз конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв зернозбиральних комбайнів;
- теоретично обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри та режими роботи процесу обмолоту та сепарації зерна багатобарабаним МСП;

- визначити вплив параметрів та режимів роботи багатобарабанного МСП на якісні показники процесу обмолоту та сепарації;
- обґрунтувати раціональні параметри та режими роботи зернозбирального комбайна обладнаного модернізованим багатобарабанним МСП.
- визначити економічний ефект від застосування модернізованого багатобарабанного МСП.

Висновки по розділу.

Аналіз відомих конструкцій МСП зернозбиральних комбайнів, результатів проведених раніше досліджень процесу обмолоту і сепарації зерна та виробничого досвіду дозволяють зробити наступні висновки:

На даному етапі розвитку комбайнобудування найбільше розповсюдження в світі отримали МСП барабанного типу, такі пристрої прості та компактні за конструкцією, універсальні, надійні в роботі, вони добре вписуються в технологічну схему сучасних зернозбиральних комбайнів, однак мають ряд недоліків: висока швидкість прискорення хлібної маси в МСП і гранично мала довжина її шляху (експозиція руху) в молотильному зазорі не дають можливості забезпечити повну сепарацію зерна. За даними багатьох джерел, сепарація зерна крізь підбарабання складає 75-90 %.

Використання МСП з аксіальним переміщенням хлібної маси в робочому зазорі між барабаном і деком дозволяє збільшити експозицію обробітку хлібної маси і, тим самим, диференціювати процес обмолоту та сепарації зерна. Але комбайни з поздовжньо розміщеними роторами мають складні конструкції для прийому і зміни напрямку руху хлібної маси, яка подається на обмолот. Крім того, такі конструкції МСП повинні мати потужний механізм привода ротора з кутовою передачею потужності від двигуна до ротора.

МСП, які мають здвоєні ротори, із-за розділенням хлібної маси на два потоки ускладнюють конструкцію і технологічний процес роботи МСП.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вплив параметрів та факторів на процес обмолоту і сепарації.

Кількість зернової маси, яка обмолочується і сепарується МСП, залежить від цілого ряду факторів.

Фактори, які мають найбільший вплив на процес обмолоту і сепарації: швидкість (інтенсивність) ударів, час знаходження (експозиція), кількість ударів, що зазнає хлібна маса в робочому зазорі між барабаном та декою.

Встановлена залежність, що D , кількість бичів, z кутова швидкість барабана, має значний вплив на процес обмолоту та сепарації МСП.

Розглянемо дію молотильного барабана діаметром D із z бичами на хлібну масу (рис. 2.1).

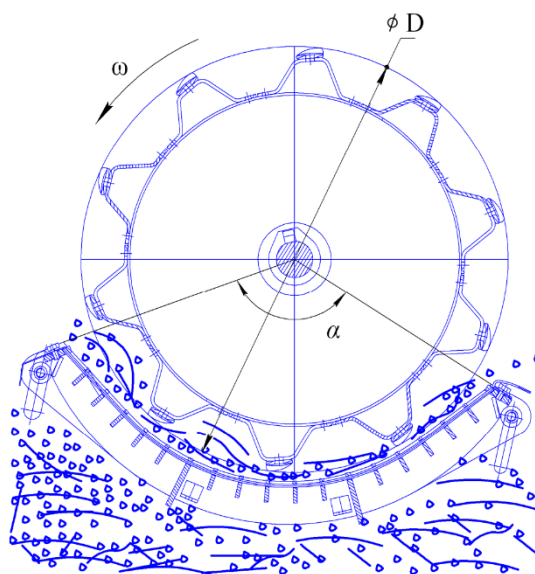


Рисунок 2.1 – Схема обмолоту і сепарації зерна в молотильному зазорі

При обертанні з кутовою швидкістю ω бичі барабана завдають ударів по хлібній масі, яка знаходиться в зазорі між барабаном та підбарабанням з кутом охоплення α , що стає причиною обмолоту і сепарації зерна в МСП.

Процес обмолоту та сепарації зерна в МСП залежить у першу чергу від кількості ударів, що зазнає зерновий матеріал під час обмолоту в молотильному

засорі і є функцією часу та залежить від положення порції на поверхні підбарабання (довжини підбарабання), швидкості руху маси в молотильному зазорі, кутової швидкості обертання, радіуса барабана та кількості бичів.

$$\frac{dn_{y\bar{d}}}{dl} = f(l, V_M, D, z). \quad (2.1)$$

Для визначення кількості ударів, яка зазнає зерновий матеріал за час руху на ділянці підбарабання dl в молотильному зазорі, розглянемо порцію хлібної маси, що знаходиться на відстані l від початку підбарабання та рухається зі швидкістю V_M (рис. 2.2).

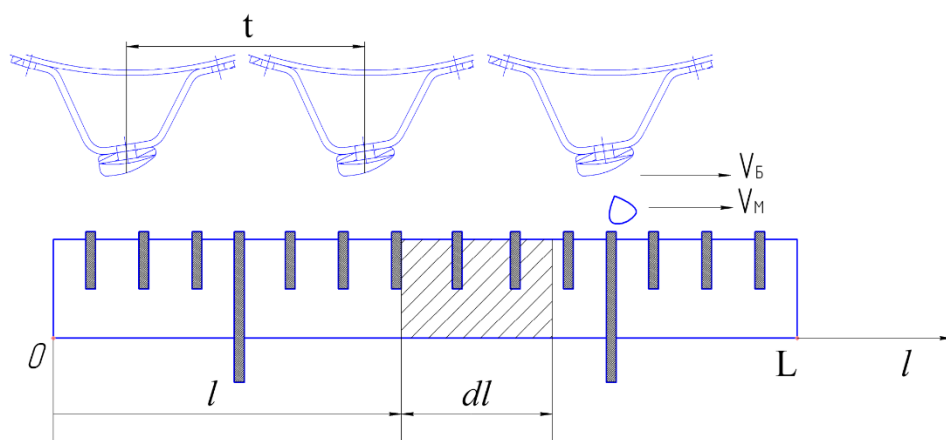


Рисунок 2.2 – Схема до визначення кількості ударів бичів барабана по порції хлібної маси

За час dt маса пройде відстань dl :

$$dl = V_M(t) \cdot dt. \quad (2.2)$$

Відстань L , яку проходить маса в молотильному зазорі, можна визначити із залежності:

$$L = f(t) = \int_0^{t_1} V_M(t) \cdot dt. \quad (2.3)$$

У той же час маса зазнає дії (ударів) бичів молотильного барабана.

$$\frac{dn_{y\bar{d}}}{dt} = \frac{\left(\omega \cdot \frac{D}{2} - V_M\right) \cdot z}{\pi \cdot D}, \quad (2.4)$$

де ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с; z – кількість бичів; D – діаметр барабана, м.

Зазвичай параметром, що визначає інтенсивність обмолоту хлібної маси, приймають кутову швидкість молотильного барабана, що визначається:

$$V_B = \omega_B \cdot \frac{D}{2}. \quad (2.5)$$

Кількість ударів бичів, що зазнає хлібна маса за час руху на ділянці dl :

$$\frac{dn_{уд}}{dt} = \frac{(V_B - V_M)}{\pi} \cdot \frac{z}{D}. \quad (2.6)$$

Провівши аналіз конструкцій МСП різних зернових комбайнів, нами було встановлено, що між значеннями (кількості бичів молотильного барабана і радіусом барабана) існує певна кореляція.

Тобто, співвідношення D барабанна до кількості бичів z , K_B , що буде характеризувати конструкційні особливості барабана:

$$K_B = \frac{D}{z}. \quad (2.7)$$

Ураховуючи швидкість руху хлібної маси в робочому зазорі між барабаном і декою, отримаємо:

$$dt = \frac{dl}{V_M}. \quad (2.8)$$

Зробивши припущення, що швидкість руху маси в молотильному зазорі збільшується пропорційно довжині підбарабання [14, 20], можна записати:

$$V_M = V_0 + \frac{V_{вих} - V_0}{L} \cdot l \quad (2.9)$$

де V_0 – швидкість маси на вході в зазор молотильного барабана, м/с; L – довжина решітки підбарабання, м; $V_{вих}$ – швидкість маси на виході з молотильного барабана, м/с.

Із врахуванням коефіцієнтів співвідношення D , барабана K_B , до кількості бичів кількість ударів, що зазнає хлібна маса на ділянці підбарабання:

$$\frac{dn_{уд}}{dl} = \frac{(V_B - V_M)}{\pi \cdot V_M \cdot K_B}. \quad (2.10)$$

Процес сепарації розглянемо в залежності від довжини підбарабання, визначаючи частку зерна, що залишається в хлібній масі за довжиною підбарабання, який можна описати експоненційними залежностями: $Y = e^{-c \cdot l}$ [2, 8].

На коефіцієнт сепарації, що входить у дану залежність, впливають багато факторів: вид культури, конструкційно-технологічні параметри та режимів роботи МСП тощо. Зазвичай його визначають експериментальним шляхом. Для зручності розрахунків розглянемо проекцію розгорнутої решітки підбарабання на вісь l (рис. 2.3).

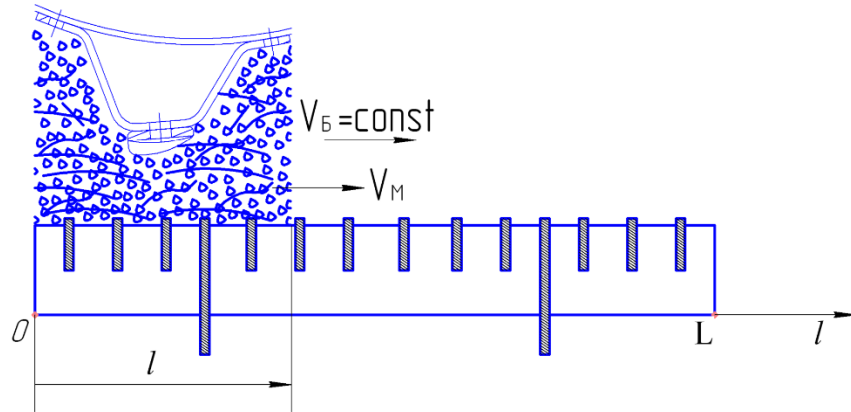


Рисунок 2.3 – Розгорнута проекція решітки підбарабання МСП

Виходячи з цього, частка зерна, що залишається в хлібній масі за довжиною першого підбарабання барабана, може бути описана залежністю:

$$Y_{13} = e^{-(b_{11} \cdot \omega_1 + b_{12} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{13}}} \quad (2.11)$$

де ω_1 – кутова швидкість обертання першого барабана, рад/с; q_{II} – питома подача, приведена до 1 м ширини підбарабання, кг/с; b_{11} , b_{12} , b_{13} – емпіричні коефіцієнти, що визначаються експериментальним шляхом.

Частку зерна, що залишається в хлібній масі за довжиною підбарабання другого барабана, можна описати залежністю:

$$Y_{23} = Q_2 e^{-(b_{21} \cdot \omega_2 + b_{22} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{23}}} \quad (2.12)$$

де ω_2 – кутова швидкість обертання другого барабана МСП, рад/с; b_{21} , b_{22} , b_{23} – емпіричні коефіцієнти, що визначаються експериментальним шляхом, кг. Q_2 – частка зерна, що надходить з масою на обмолот у другий барабан з першого барабана:

$$Q_2 = e^{-(b_{11} \cdot \omega_1 + b_{12} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{13}}}, \quad (2.13)$$

де L – розгорнута довжина решітки підбарабання, м:

$$L = R_{\Pi} \cdot \alpha \quad (2.14)$$

де R_{Π} – радіус кривизни підбарабання, м; α – кут охоплення барабана підбарабанням, рад.

Радіус кривизни підбарабання визначається як сума радіуса барабана та зазору між барабаном та підбарабанням:

$$R_{\Pi} = \frac{D}{2} + h, \quad (2.15)$$

де h – зазор між барабаном та підбарабанням, м.

Ураховуючи, що зазор між барабаном і підбарабанням майже на два порядку менше діаметра $h \ll D$, в розрахунках значенням h можна знехтувати та прийняти:

$$L = \frac{D}{2} \cdot \alpha. \quad (2.16)$$

Частку зерна, що залишається в хлібній масі за довжиною підбарабання третього барабана, можна описати залежністю:

$$Y_{33} = Q_3 e^{-(b_{31} \cdot \omega_3 + b_{32} \cdot q_{\Pi}) \cdot L^{b_{33}}}, \quad (2.17)$$

де ω_3 – кутова швидкість обертання третього барабана МСП, рад/с; b_{31} , b_{32} , b_{33} – емпіричні коефіцієнти, що визначаються експериментальним шляхом, кг. Q_3 – частка зерна, що надходить з масою на обмолот у третій барабан з другого:

$$Q_3 = e^{-(b_{21} \cdot \omega_2 + b_{22} \cdot q_{\Pi}) \cdot L^{b_{23}}}. \quad (2.18)$$

2.2. Ймовірність травмування зерна в молотильному зазорі МСП.

Ймовірність травмування зерна залежить від багатьох факторів: маси, розмірів, вологості, числа та швидкості ударів, виду зернівки та матеріалу робочих органів.

Ймовірність травмування зернівки можна оцінити емпіричною залежністю [20]:

$$p_{TP} = e^{-C_T (V_{max} - V_{уд})^2}, \quad (2.19)$$

де C_T – коефіцієнт інтенсивності руйнування, який обумовлений фізико-механічними властивостями зерна та хлібної маси; V_{max} – швидкість, при якій все

зерно руйнується ударом, м/с; $V_{уд}$ – швидкість удару бичів барабана по хлібній масі, м/с.

При розрахунках приймемо швидкість удару бичів як різницю швидкостей бичів барабана та руху хлібної маси по решітці підбарабання:

$$V_{уд} = V_B - V_M. \quad (2.20)$$

Рівень травмування зерна залежить від кількості та величини імпульсів силової дії бичів на матеріал, що, в свою чергу, визначаються різницею швидкостей руху бичів, хлібної маси та кількістю бичів на робочій поверхні барабанів.

Тобто:

$$U_{TP} = f(\omega_B, V_M, z) \quad (2.21)$$

де U_{TP} – значення травмування, зерна МСП; ω_B – кутова швидкість барабана, рад/с; V_M – швидкість маси в молотильному зазорі, м/с; z – кількість бичів молотильного барабана.

Враховуючи, що відсоток травмованого зерна в молотильному зазорі є функцією, пропорційною кількості ударів, що зазнає зерновий матеріал при дії бича в молотильному зазорі та кількості самого зернового матеріалу на певній ділянці підбарабання, можна записати:

$$\frac{dU_{TP}}{dl} = Y_3(l) \cdot p_{TP} \cdot \frac{dn_{уд}}{dl}, \quad (2.22)$$

де $\frac{dU_{TP}}{dl}$ – ймовірність травмування зерна, що зазнає зерно на ділянці підбарабання dl ; $Y_3(l)$ – кількість зерна, що залишається в хлібній масі за довжиною підбарабання, кг; p_{TP} – ймовірність травмування зерна від удару бичем барабана по хлібній масі; $\frac{dn_{уд}}{dl}$ – кількість ударів, що зазнає зерновий матеріал за час руху на ділянці підбарабання dl .

Частки травмування зерна внаслідок ударної дії бичів першого, другого та третього барабанів МСП із врахуванням виразів (2.1 – 2.22) складе:

$$U_{TP1} = \int_0^L \frac{\left(\omega_1 \cdot \frac{D}{2} - V_M\right)}{\pi \cdot V_M \cdot K_B} \cdot e^{-(b_{11} \cdot \omega_1 + b_{12} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{13}} - C_T \cdot \left(V_{max} - \left(\omega_1 \cdot \frac{D}{2} - V_M\right)\right)^2} dl,$$

$$U_{TP2} = \int_0^L \frac{\left(\omega_2 \cdot \frac{D}{2} - V_M\right)}{\pi \cdot V_M \cdot K_B} \cdot$$

$$\cdot e^{-(b_{11} \cdot \omega_1 + b_{12} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{13}} - (b_{21} \cdot \omega_2 + b_{22} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{23}} - C_T \left(V_{max} - \left(\omega_2 \cdot \frac{D}{2} - V_M \right)^2 \right)} dl,$$

$$U_{TP3} = \int_0^L \frac{\left(\omega_3 \cdot \frac{D}{2} - V_M \right)}{\pi \cdot V_M \cdot K_B} \cdot$$

$$\cdot e^{-(b_{21} \cdot \omega_2 + b_{22} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{23}} - (b_{31} \cdot \omega_3 + b_{32} \cdot q_{II}) \cdot L^{b_{33}} - C_T \left(V_{max} - \left(\omega_3 \cdot \frac{D}{2} - V_M \right)^2 \right)} dl.$$

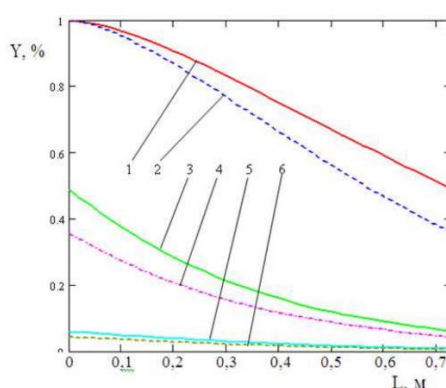
Загальний рівень травмування зерна МСП складе:

$$U_{TP} = U_{TP1} + U_{TP2} + U_{TP3}.$$

2.3. Моделювання процесу обмолоту і сепарації зерна в молотильному зазорі МСП.

Моделювання процесу обмолоту і сепарації зерна в молотильному зазорі МСП було виконано в програмному середовищі Mathcad Professional 2000.

Аналіз залежностей математичної моделі обмолоту і сепарації зерна дозволяє зробити припущення, що загальний рівень травмування зерна МСП можна зменшити за рахунок зменшення кутової швидкості першого барабана на 20-25 %. При цьому очікується зменшення сепаруючої спроможності першого барабана МСП на 18-22 % та відповідне зростання сепаруючої спроможності другого та третього барабана МСП (рис. 2.4).



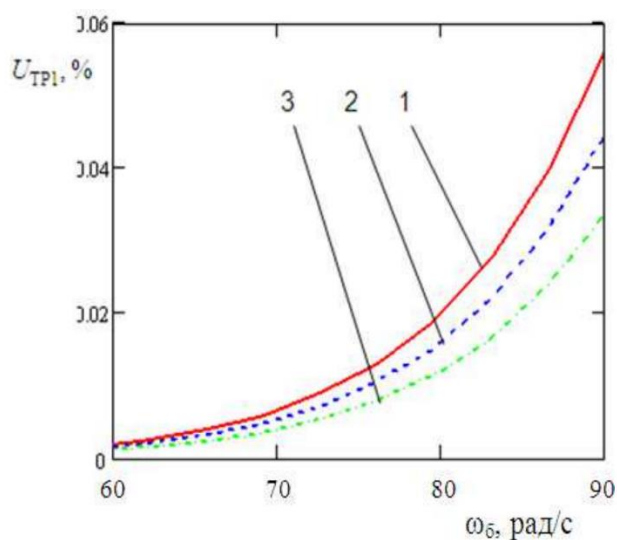
перший (1, 2) другий (3, 4) та третій (5, 6) молотильні барабани;

(1, 3, 5) – 70 рад/с, (2, 4, 6) – 90 рад/с.

Рисунок 2.4 – Залежність кількості зерна, що залишається в хлібній масі від довжини підбарабання першого (1, 2) другого (3, 4) та третього (5, 6) молотильних барабанів при значенні кутової швидкості 70 рад/с (1, 3, 5) та 90 рад/с (2, 4, 6)

Як видно і рис. 2.4 кутова швидкість молотильних барабанів має значний вплив на сепаруючу здатність та, як наслідок, на значення втрат зерна за МСП комбайна, при швидкостях молотильних барабанів (70 рад/с) та 90 рад/с коефіцієнт обмолоту та сепарації становить перший молотильний барабан 58 % та 47 %, другого 91 % та 93 %, третього 98 % та 99 %.

Проведені розрахунки чисельними методами отриманої моделі дозволили встановити залежності впливу швидкості обертання та параметру барабанів на травмування та втрат зерна (рис. 2.4 – 2.6).

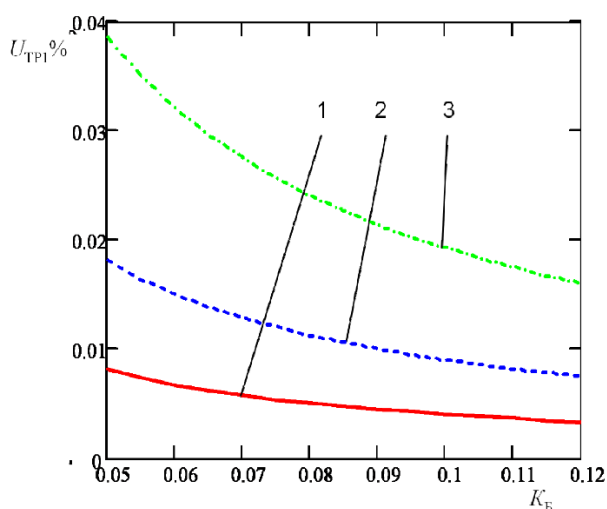


1-3 – співвідношення діаметра барабана до кількості бичів 0,07; 0,0875; 0,116.

Рисунок 2.5 – Вплив кутової швидкості барабана на рівень травмування зерна

Як видно з рис. 2.5, інтенсивність травмування зерна зростає зі збільшенням кутової швидкості молотильного барабана. Так, зростання кутової швидкості барабана з 70 рад/с до 80 рад/с, супроводжується збільшенням рівня травмування зерна першим барабаном МСП в 3,1-3,3 рази. Збільшення кутової швидкості понад 80 рад/с призводить до значного зростання рівня травмування зерна.

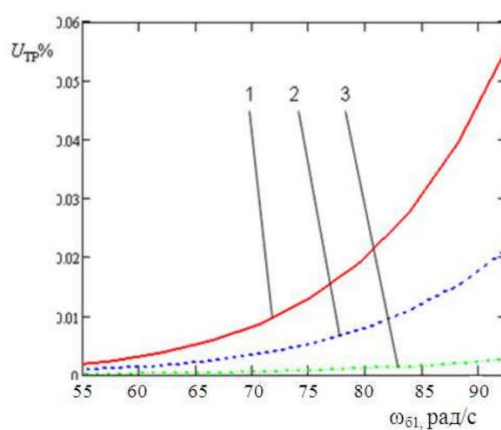
Значним резервом зменшення рівня травмування зерна МСП може бути збільшення співвідношення барабана до кількості бичів особливо при збільшених швидкостях у молотильному зазорі. Так, збільшення співвідношення барабана до кількості бичів з 0,07 до 0,10 -0,11 веде до зменшення рівня травмування зерна на 45-55 %.



1, 2, 3 – кутова швидкість бичів барабана 70,0 рад/с; 80,0 рад/с;
90,0 рад/с відповідно

Рисунок 2.6 – Вплив параметра барабана на рівень травмування зерна при кутовій швидкості барабана

Проведені розрахунки показують, що основна частка загального рівня травмування зерна МСП (рис. 2.7) припадає на перший барабан та складає близько 65-70 %.

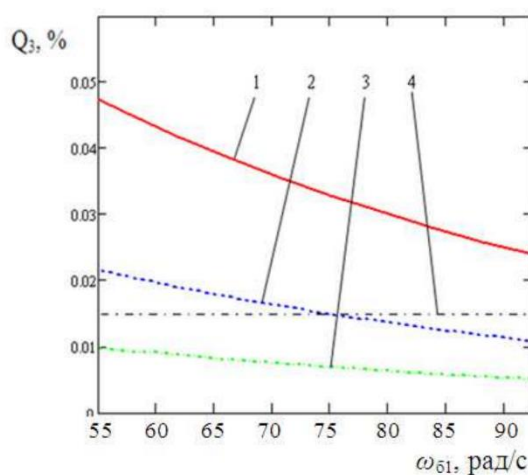


1, 2, 3 – перший, другий і третій барабани відповідно

Рисунок 2.7 – Вплив кутової швидкості барабана на травмування зерна

Слід відмітити, що при кутовій швидкості першого барабана $\omega_{\delta 1}=90$ рад/с очікуваний сумарний рівень травмування зерна МСП на всьому діапазоні зміни швидкості другого та третього барабанів перевищує рівень, встановлений агровимогами до процесу обмолоту.

Вплив кутової швидкості першого барабана на рівень втрат зерна за МСП наведено на рис. 2.8. Як видно з рисунка, збільшення кутової швидкості першого барабана призводить до зменшення втрат зерна за МСП комбайна. При кутовій швидкості другого та третього барабанів $\omega_{62}=90$ рад/с, втрати зерна за МСП не перевищують допустимого рівня, встановленого агрономіями на всьому діапазоні зміни швидкості першого барабана.



1-3 – $\omega_{62}=\omega_{63}=70$ рад/с; $\omega_{62}=\omega_{63}=80$ рад/с; $\omega_{62}=\omega_{63}=88$ рад/с;

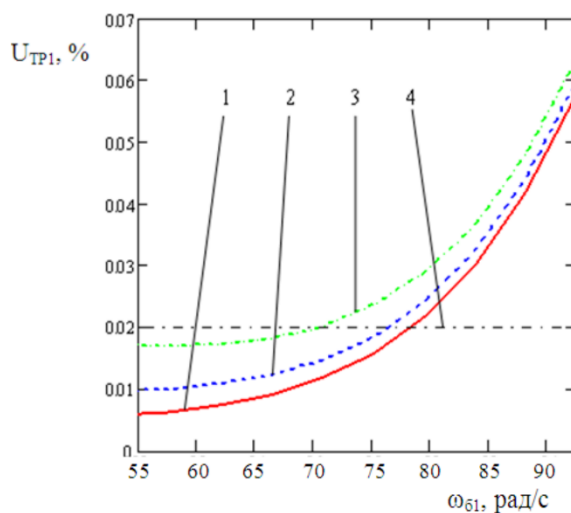
4 – рівень втрат зерна, встановлений агрономіями

Рисунок 2.8 – Вплив кутової швидкості першого барабана МСП (ω_{61}) на втрати зерна при кутовій швидкості другого та третього барабанів

Вплив кутової швидкості першого барабана на сумарний рівень травмування зерна МСП при різних значеннях кутової швидкості другого та третього барабанів наведено на рис. 2.9. Отримані залежності свідчать, що зростання кутової швидкості першого барабана понад 80-90 рад/с, призводить до інтенсивного зростання сумарного рівня травмування зерна МСП.

При зменшенні кутової швидкості першого барабана з 90 рад/с до 70 рад/с очікується зменшення сумарного рівня травмування зерна МСП на 35-40 %.

При кутовій швидкості другого та третього барабанів $\omega_{62}=88$ рад/с, збільшення кутової швидкості першого барабана в межах 60-75 рад/с, супроводжується незначним зростанням сумарного рівня травмування зерна, що не перевищує допустимі значення, передбачені агрономіями.



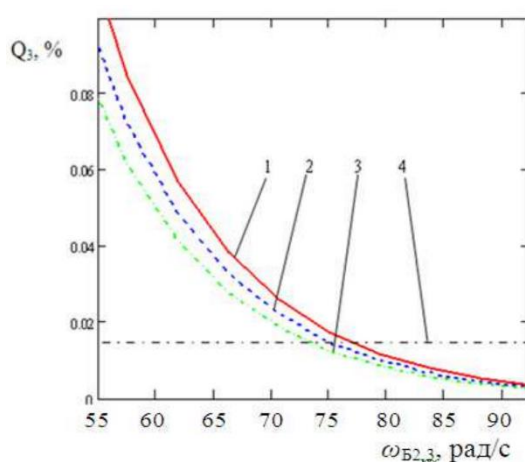
1-3 – $\omega_{\delta 2}=\omega_{\delta 3}=70$ рад/с; $\omega_{\delta 2}=\omega_{\delta 3}=80$ рад/с; $\omega_{\delta 2}=\omega_{\delta 3}=90$ рад/с;

4 – рівень втрат зерна, встановлений агрономіками

Рисунок 2.9 – Вплив кутової швидкості першого барабана МСП ($\omega_{\delta 1}$) на сумарний рівень травмування зерна при кутовій швидкості другого та третього барабанів

Отже, раціональною швидкістю першого барабана, при яких спостерігаються мінімальні значення сумарного рівня травмування зерна МСП при мінімальних втратах зерна, є значення $\omega_{\delta 1}=68-75$ рад/с. При цьому зменшується загальний рівень травмування зерна на 35-40 %.

На рис 2.10 наведено розрахункові залежності впливу кутової швидкості другого та третього барабанів на втрати зерна за МСП.



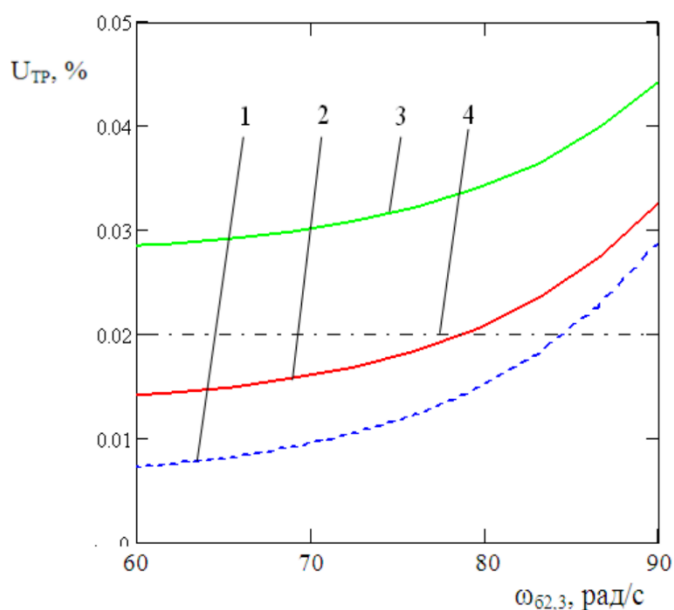
1-3 – $\omega_{\delta 1}=35$ рад/с; $\omega_{\delta 1}=40$ рад/с; $\omega_{\delta 1}=45$ рад/с;

4 – рівень втрат зерна, встановлений агрономіками

Рисунок 2.10 – Вплив кутової швидкості другого та третього барабанів МСП ($\omega_{\delta 2}=\omega_{\delta 3}$) на втрати зерна за МСП при кутовій швидкості першого барабана

Як видно з рисунка, за кутової швидкості другого та третього барабанів 85-97 рад/с, зменшення втрат зерна за МСП, які будуть складати 0,5-1,1 %. При зменшенні кутової швидкості другого та третього барабанів менше 80-82 рад/с, має місце різке зростання втрат зерна за МСП та перевищення допустимих значень, що встановлені агрономіями. Як видно з рисунка, за кутової швидкості другого та третього барабанів 85-97 рад/с, зменшення втрат зерна за МСП, які будуть складати 0,5-1,1 %. При зменшенні кутової швидкості другого та третього барабанів менше 80-82 рад/с, має місце різке зростання втрат зерна за МСП та перевищення допустимих значень, що встановлені агрономіями.

Залежності впливу кутової швидкості другого та третього барабанів на сумарний рівень травмування зерна МСП наведено на рис. 2.11. Як видно з рисунка, при збільшенні швидкості другого та третього барабанів МСП в межах 70-90 рад/с, сумарний рівень травмування зерна збільшується незначно. Зростання відповідної швидкості понад 90 рад/с, супроводжується підвищенням інтенсивності травмування зерна.



1-3 – $\omega_{62}=\omega_{63}=70,0$ рад/с; $\omega_{62}=\omega_{63}=80,0$ рад/с; $\omega_{62}=\omega_{63}=90,0$ рад/с;

4 – рівень втрат зерна, встановлений агрономіями

Рисунок 2.11 – Вплив кутової швидкості другого та третього барабанів МСП ($\omega_{62}=\omega_{63}$) на сумарний рівень травмування зерна при кутовій швидкості першого барабана

Отже, для забезпечення мінімальних втрат зерна за МСП при допустимому сумарному рівні травмування зерна кутова швидкість другого та третього барабанів при обмолоті зернових культур повинно знаходитись в межах 82-88 рад/с.

Висновки по розділу.

Розроблено аналітичний метод, який може бути використаним для розрахунку режимів обмолоту і сепарації зерна багатобарабанным МСП у залежності від налаштувань молотарки.

Розроблена математична модель прогнозування рівня травмування зерна в молотильному зазорі МСП дозволяє визначити сумарний рівень пошкодження та втрат зерна в залежності від конструкційних та технологічних параметрів МСП.

Значним резервом зменшення травмування зерна МСП може бути збільшення співвідношення діаметра барабанна до кількості бичів, особливо при збільшених швидкостях у молотильному зазорі. Так, збільшення співвідношення з 0,07 до 0,10-0,11 веде до зменшення травмування зерна на 45-55 %.

Аналіз залежностей математичної моделі виникнення травмування зерна дозволив зробити припущення, що загальний рівень травмування зерна МСП можна зменшити за рахунок зменшення кутової швидкості першого барабана на 20-25 %. При цьому сепаруюча спроможність першого барабана МСП зменшується на 18-22 % та відповідно зростає сепаруюча спроможність другого та третього барабана МСП.

Для забезпечення мінімальних втрат зерна за МСП при допустимому сумарному рівні травмування зерна кутова швидкість другого та третього барабанів при обмолоті зернових культур повинні знаходитись в межах 82-88 рад/с.

Раціональними значеннями швидкості першого барабана, при яких спостерігається мінімальний сумарний рівень травмування зерна МСП при мінімальних втратах зерна є значення $\omega_{б1}=68-75$ рад/с. При цьому загальний рівень травмування зерна зменшується на 35-40 %.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис експериментальної установки.

Дослідження впливу конструкційно-технологічних параметрів на показники якості роботи МСП проводили на експериментальній установці (рис. 3.1). Для проведення дослідження експериментальний МСП вмонтований в конструкцію комбайна КЗС-9М1 «Славутич».

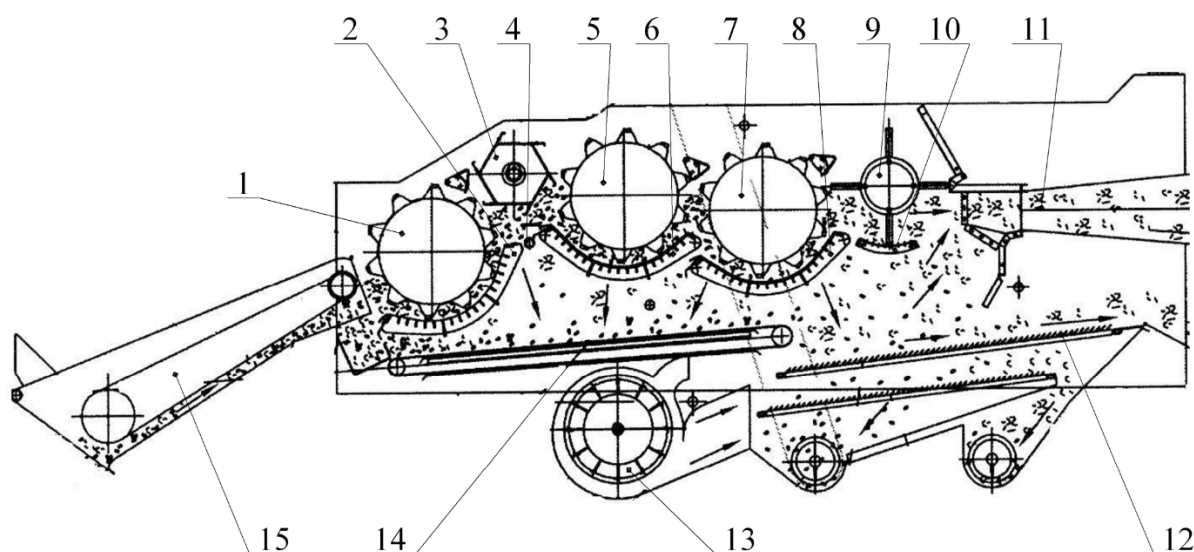


Рисунок 3.1 – Схема багатобарабанної молотарки зернозбирального комбайна КЗС «Славутич»:

- 1, 5, 7 – молотильні барабани; 2, 6, 8 – деки (підбарабання); 3 – проміжний бітер;
 4, 10 – сепаруюча решітка; 9 – відбійний бітер; 11 – ексгаустер; 12 – верхнє
 решето очистки комбайна; 13 – вентилятор; 14 – стрічковий транспортер;
 15 – завантажувальний транспортер.

Експериментальний МСП виконаний у вигляді трьох – молотильних барабанів з обхватом на 110° знизу деками (підбарабаннями). Конструкційне виконання всіх трьох молотильних барабанів однакові. Барабани виконані у вигляді закритих пустотілих циліндрів діаметром 700 мм. По периметру циліндра на підбичниках прикріплено 10 рифлених підбичників.

Підбарабання виконане у вигляді перфорованої решітки з кутом обхвату барабанів 110° . Для плавного вводу хлібної маси в робочий зазор між барабаном і декою передня частина підбарабання має незначний відгин.

Технологічний процес роботи МСП проходить наступним чином. Хлібна маса завантажувальним (живильним) транспортером 15 подається в робочий зазор між барабаном і підбарабанням (декою) першого барабана, де захвачується бичами барабана і протягується в робочому зазорі між барабаном 1 і підбарабанням 2, у процесі протягування хлібної маси відбувається обмолот і сепарація обмолоченого зерна, яке просівається крізь решітчасту поверхню деки (підбарабання) 2.

У процесі руху хлібної маси в робочому зазорі між барабаном 1 і декою 2 на деяких режимах роботи молотильного барабана 1 за рахунок імпульсивних дій робочих органів барабана 1 і протягування її по поверхні деки 2 відбувається обмолот зерна. Обмолочене зерно просипається крізь решітчасту поверхню деки 2 на стрічковий транспортер 14 і подається на верхнє решето 12. Із першого барабана 1 хлібна маса поступає на проміжний бітер 3 із сепаруючою решіткою 4 і подається бітером 3 у робочий зазор між другим барабаном 5 і декою 6. У робочому зазорі між барабаном 5 і декою 6 відбувається дообмолот необмолоченого зерна на більш “жорстких” режимах роботи другого молотильного барабана 5. Обмолочене зерно просипається крізь решітчасту поверхню деки 6 на стрічковий транспортер 14 подається на верхнє решето 12. Із другого молотильного барабана 5 соломиста маса 3 залишками невідсепарованого зерна подається в робочий зазор між барабаном 7 і декою 8. У робочому зазорі між барабаном 7 і декою 8 залишки необмолоченого зерна дообмолочується і просипаються крізь решітчасту поверхню деки 8 на стрічковий транспортер 14 і подається на верхнє решето 12. Соломиста маса, очищена від зерна, із третього барабана 7 подається на подрібнювач 9 і в подрібненому стані виводиться за межі МСП.

3.2. Вплив конструкційно-технологічних параметрів роботи багатобарабанного МСП на показники якості обмолоту та сепарації хлібної маси кожним із трьох барабанів.

Дослідження проводили на збиранні озимої пшениці з біологічною врожайністю на висоті зрізу – 0,93-0,95 кг/м², забур'яненість хлібостою – 5-6 %, масове співвідношення зерна до соломистої маси – 1:1.1 – 1.2, вологість зерна – 15-16 %, проводили на висоті зрізу 10-15 см, при висоті стеблостою 0,93-0,97 м.

Досліди проводили згідно планом-матрицею для трифакторного експерименту [15]. Змінними факторами, що впливають на показники якості роботи багатобарабанного МСП були:

X_1 – кутова швидкість бичів молотильного барабана, ω , рад/с;

X_2 – завантаження молотарки комбайна, q , кг/с;

X_3 – довжина ділянки, яку проходить маса за час обмолоту L , м/с.

В результаті виконаних експериментів, відбору та аналізу проб, обробки матриці вихідних даних отримані експоненційні залежності, які відображають вплив досліджуваних факторів на показники якості роботи трибарабанного МСП, а саме обмолот кожним із барабанів окремо:

$$B_1 = 1 - e^{(0,022353 \cdot \omega - 0,069613 \cdot q) \cdot l^{1,524049}},$$

$$B_2 = 1 - Q_2 \cdot (e^{(0,064209 \cdot \omega_2 - 0,322064 \cdot q) \cdot l^{1,041219}}),$$

$$B_3 = 1 - Q_3 \cdot (e^{(0,047084 \cdot \omega_3 - 0,141601 \cdot q) \cdot l^{1,242060}}),$$

де B_1 – кількість зерна, обмолочена та відсепарована першим барабаном, %; B_2 – кількість зерна обмолочена та відсепарована другим барабаном, %; B_3 – кількість зерна обмолочена та відсепарована третім барабаном, %.

Адекватність даних моделей перевірена за допомогою критерію Фішера. Результати розрахунків свідчать, що наведені рівняння регресії адекватні на рівні довірчої ймовірності 0,95.

Поверхні відгуку, що показують залежності впливу досліджуваних факторів на показники якості роботи багатобарабанної молотарки, приведено на рис. 3.2 – 3.4; 3.5 – 3.7; 3.8 – 3.10.

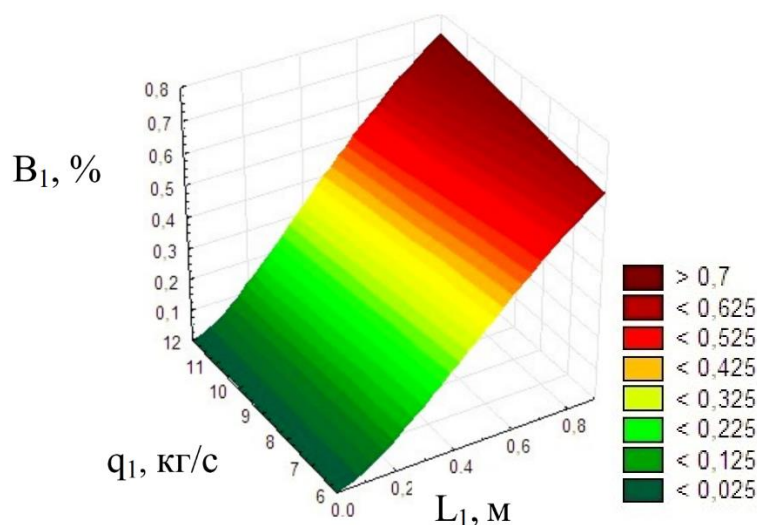


Рисунок 3.2 – Вплив подачі хлібної маси в МСП на просівання зерна крізь підбарабання по довжині першого підбарабання МСП

Із рис. 3.2 видно, що при подачі $q_1=6-12$ кг/с за довжиною L_1 частка відсепарованого зерна першим барабаном знаходиться в межах 55-75 %.

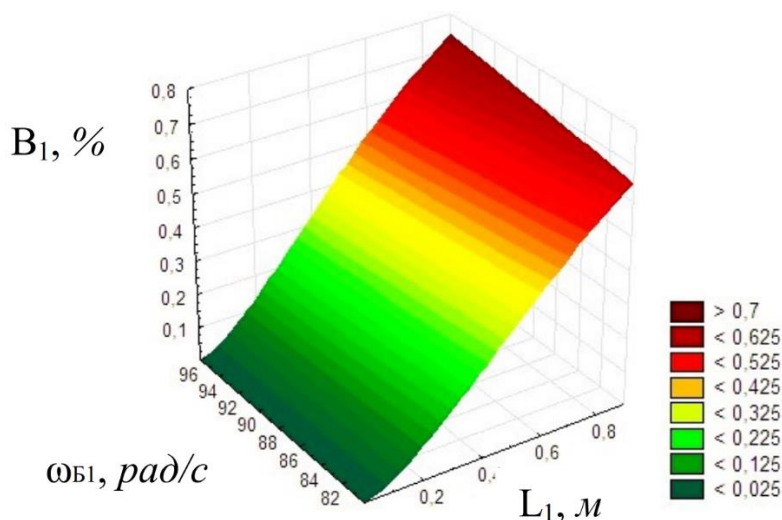


Рисунок 3.3 – Вплив кутової швидкості молотильного барабана, на просівання зерна крізь підбарабання по довжині першого підбарабання.

Із рис. 3.3 видно, що при кутовій швидкості $\omega_{B1}=62-96$ рад/с, за довжиною L_1 , м частка відсепарованого зерна першим барабаном складає в межах 50-75 %.

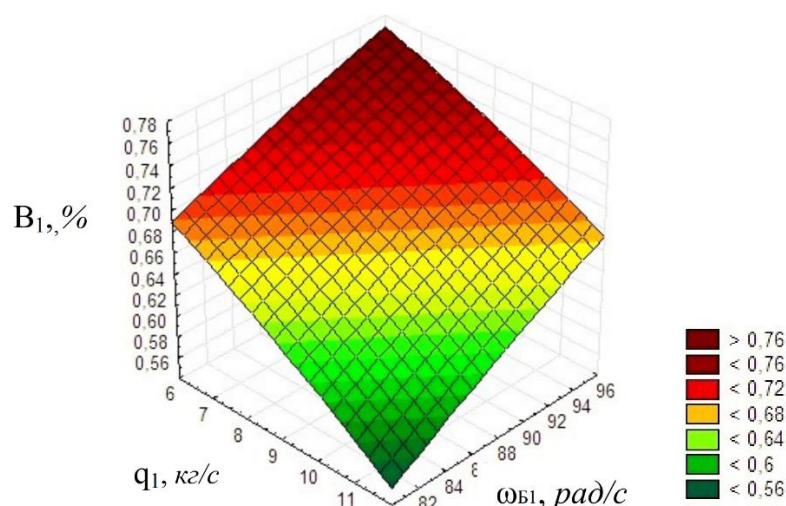


Рисунок 3.4 – Вплив подачі хлібної маси в МСП і кутової швидкості молотильного барабана, на просівання зерна крізь підбарабання по довженні першого підбарабання

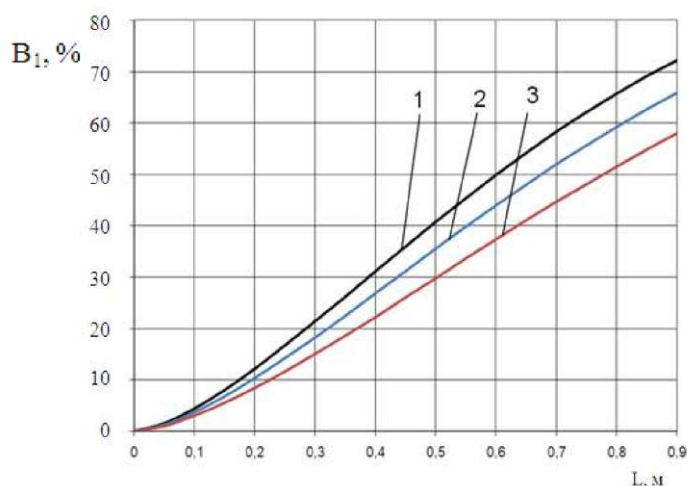
На підставі аналізу рис. 3.4 встановлено, що збільшення подачі зерно-соломистої маси призводить до зменшення частки зерна, що відсепаровується. Так, за подачі зерно-соломистої маси $q_1=6$ кг/с частка відсепарованого зерна складала 0,69, а за подачі $q_1=12$ кг/с відповідно – 0,55. Збільшення подачі зерно-соломистої маси вдвічі призводить до зменшення частки відсепарованого зерна майже на 20 %.

Збільшення кутової швидкості обертання молотильного барабана призводить до збільшення частки зерна, що відсепаровується за довжиною L_1 першого підбарабання трибарабанного МСП (рис. 3.4). Так, при кутовій швидкості обертання молотильного барабана $\omega_1=62$ рад/с, частка зерна, що відсепаровується, складала 0,55. За кутової швидкості обертання молотильного барабана $\omega_1=96$ рад/с, частка відсепарованого зерна складає на рівні 0,69. Тобто, збільшення кутової швидкості обертання молотильного барабана на 17 % призводить до зростання частки відділеного зерна на 25 %.

Дослідження проводили при різній подачі хлібної маси в молотарку комбайна в межах $q_1=6-13$ кг/с, при кутовій швидкості барабана 74 рад/с. Результати досліджень приведені на рис. 3.5.

Із рис. 3.5 видно, що близько 70 % зерна виділяється на першому барабані, спостерігається при подачі $1 - q=6$ кг/с, $\omega_{B1}=75$ рад/с; при збільшенні подачі відсоток

вимолоту першим барабаном зменшується 2 – $q=9,5$ кг/с; близько 67 %, 3 – $q=13$ кг/с; близько 58 %, це можна пояснити тим, що збільшення подачі при однаковій кутовій швидкості $\omega_{Б1}=75$ рад/с, та часу, який маса проходить зменшується кількість вимолоченого зерна за рахунок збільшення подачі маси та малої кількості часу перебування маси під дією першого молотильного барабана.

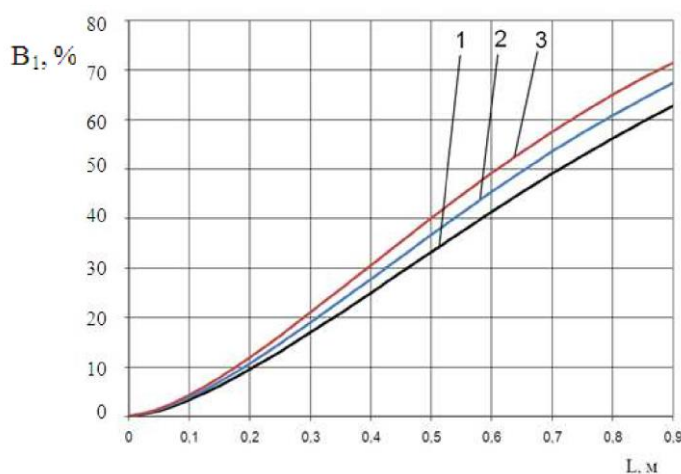


1-3 – подача 6; 9,5; 13 кг/с.

Рисунок 3.5 – Вплив довжини підбарабання на просівання зерна крізь перше підбарабання

Наступні дослідження проводили при різній кутовій швидкості барабана $\omega_{Б1}=60\text{--}96$ рад/с, при сталій подачі хлібної маси в молотарку комбайна 9 кг/с.

Результати досліджень приведені на рис. 3.6.

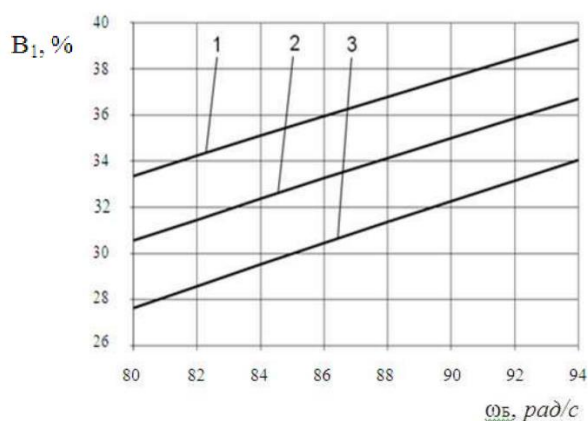


1-3 – кутова швидкість 60; 75; 95 рад/с, відповідно

Рисунок 3.6 – Вплив довжини підбарабання на просівання зерна крізь перше підбарабання

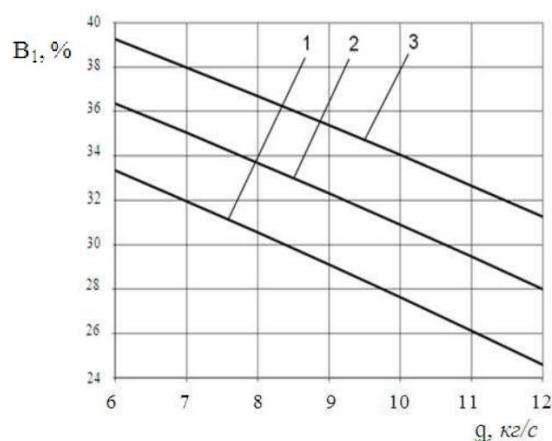
Із рис. 3.6 видно, що при однаковій подачі, але різних кутових швидкості першого молотильного барабана спостерігається різний відсоток вимолоту зерна: 1 – $q=9$ кг/с; $\omega_b=60$ рад/с, близько 62 %, 2 – $q=9$ кг/с, $\omega_b=75$ рад/с, близько 68 %, 3 – $q=9$ кг/с, $\omega_b=95$ рад/с, близько 71%, при збільшенні кутової швидкості молотильного барабана відсоток вимолоту першим барабаном також збільшується, це можна пояснити тим, що збільшення кутової швидкості при однаковій подачі підвищує кількість вимолоченого зерна, за рахунок збільшення кількості ударів бичів першого молотильного барабана.

На рис. 3.7 представлені дані по впливу кутової швидкості барабана на прохід обмолоченого зерна крізь перше підбарабання МСП.



1 – 3 – подача 6; 8 і 10 кг/с відповідно

Рисунок 3.7 – Вплив кутової швидкості барабана на просівання зерна крізь перше підбарабання



1 – 3 – кутова швидкість 60; 75; 95 рад/с, відповідно

Рисунок 3.8 – Вплив подачі хлібної маси МСП на просівання зерна крізь перше підбарабання

Як видно з рис. 3.7, при збільшенні кутової швидкості першого молотильного барабана, від 60 рад/с до 95 рад/с, відсоток вимолоту зерна також збільшується.

Як видно з рис. 3.8, при збільшенні подачі від 6 кг/с до 13 кг/с, відсоток вимолоту зерна зменшуються.

Отже, раціональними значеннями роботи першого молотильного барабана, при яких буде спостерігатися мінімальне пошкодження та повнота вимолоту: подача $q=8-10$ кг/с, кутова швидкість першого молотильного барабана, 62-75 рад/с.

На рис. 3.9 представлені дані по інтенсивності обмолоту по довжині другого підбарабання.

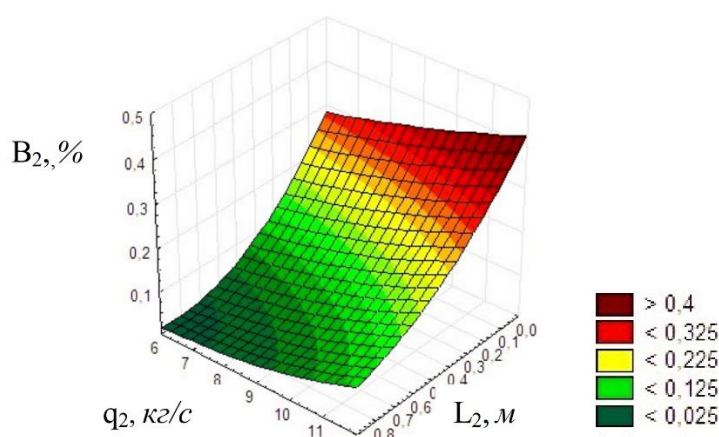


Рисунок 3.9 – Вплив подачі хлібної маси в МСП на просівання зерна по довжині другого підбарабання

Із рис. 3.9 видно, що при подачі $q_2=6-12$ кг/с, за довжиною частка відсепарованого зерна другим барабаном знаходиться в межах 30-35 %.

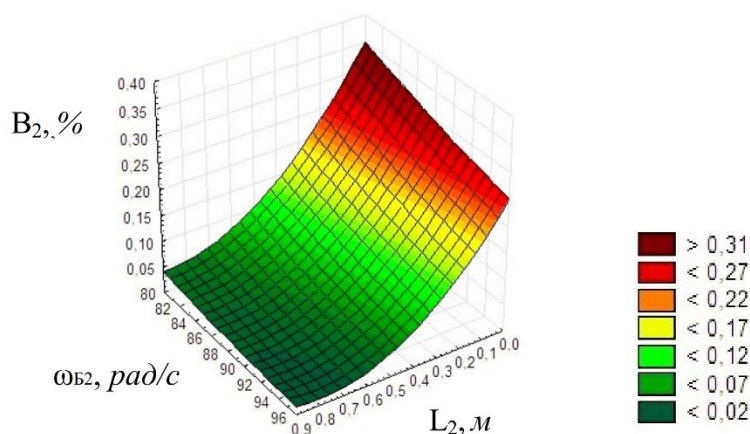


Рисунок 3.10 – Вплив кутової швидкості молотильного барабана, на просівання зерна по довжині другого підбарабання

Із рис. 3.10 видно, що при кутовій швидкості 60-95 рад/с, за довжиною L_2 , частка відсепарованого зерна другим барабаном знаходиться в межах 20-30 %.

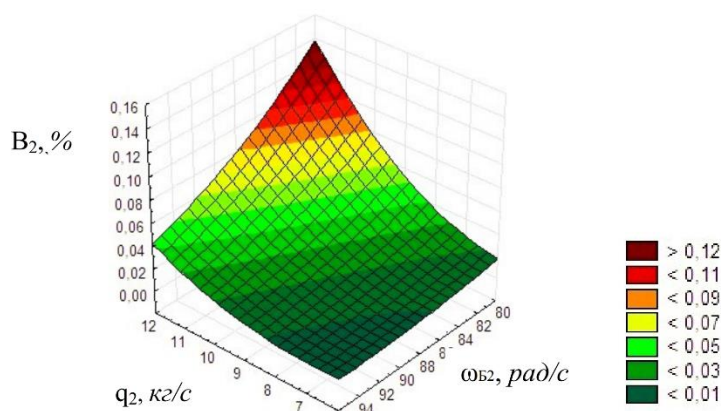


Рисунок 3.11 – Вплив подачі хлібної маси в МСП і кутової швидкості молотильного барабана, на просівання зерна через друге підбарабання

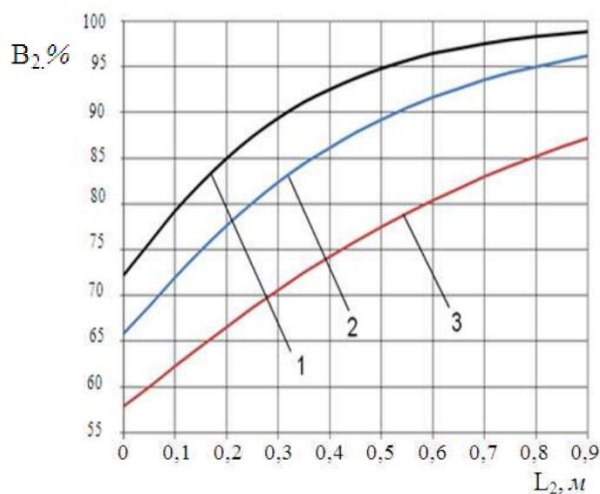
На підставі аналізу рис. 3.11 встановлено, що збільшення подачі зерно-соломистої маси призводить до зменшення частки зерна, що відсепаровується першим молотильним барабаном, відповідно збільшується частка зерна, яка потрапляє на обмолот та сепарацію другим молотильним барабаном так, за подачі зерно-соломистої маси $q_2=6$ кг/с частка відсепарованого зерна складала 0,02, а за подачі $q_1=12$ кг/с відповідно – 0,14. Збільшення подачі зерно-соломистої маси вдвічі призводить до відповідного зростання частки відсепарованого зерна на 10 %.

Кутова швидкість обертання молотильного барабана в межах 60-95 рад/с, (рис. 3.11) істотно не впливає на сепарацію. Так, при кутовій швидкості обертання молотильного барабана 60-95 рад/с, частка зерна, що відсепаровується, складала 0,16. Тобто, збільшення кутової швидкості обертання молотильного барабана не має великого впливу на сепарацію.

Результати досліджень інтенсивності обмолоту та сепарації зерна за довжиною другого підбарабання, представлено на рис. 3.12.

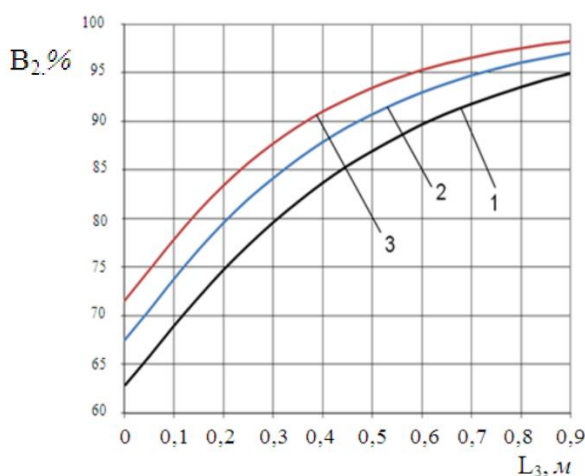
Як видно з рис. 3.12, при однаковій кутовій швидкості молотильного барабана 75 рад/с, і при різній подачі, коефіцієнт обмолоту та сепарації другим молотильним барабаном відповідно: 1 – $q=6$ кг/с, близько 73 %, 2 – $q=9,5$ кг/с, близько 68 %, 3 – $q=3$ кг/с, близько 63 %, за рахунок збільшення подачі маси зменшується коефіцієнт

сепарації другим молотильним барабаном, і навпаки, при зменшені подачі, збільшується коефіцієнт сепарації другим барабаном.



1-3 – подача 6; 9,5 і 13 кг/с відповідно

Рисунок 3.12 – Вплив довжини другого підбарабання на просівання зерна крізь нього



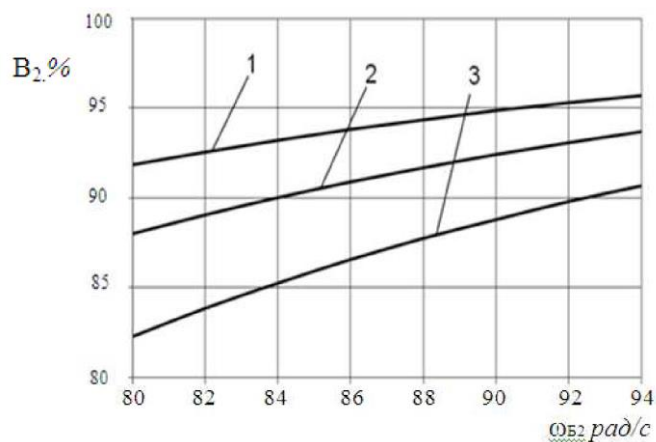
1-3 – кутова швидкість другого барабана 60; 75 і 95 рад/с, відповідно

Рисунок 3.13 – Вплив довжини другого підбарабання на просівання зерна крізь нього при подачі 9,5 кг/с.

Як видно з рис. 3.13, при однаковій подачі $q=9,5$ кг/с, але при різній кутовій швидкості молотильного барабана коефіцієнт обмолоту та сепарації другим молотильним барабаном відповідно: 1 – $\omega_{B2}=60$ рад/с, близько 64 %, 2 – $\omega_{B2}=75$ рад/с, близько 68 %, 3 – $\omega_{B2}=95$ рад/с, близько 72 %, за рахунок збільшення кутової

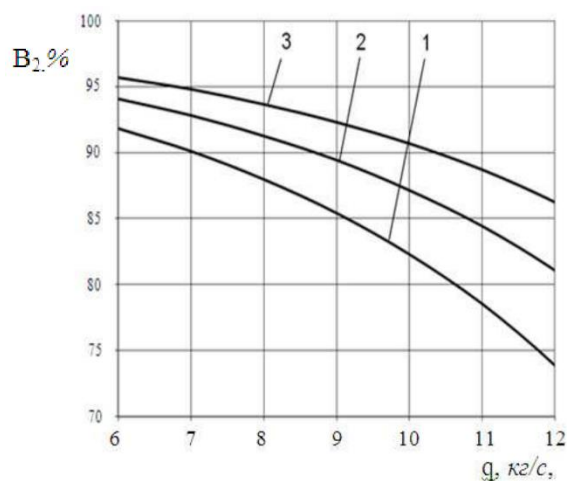
швидкості молотильного барабана $\omega_{Б2}=60-95$ рад/с, збільшується коефіцієнт сепарації другим молотильним барабаном.

Вплив кутової швидкості барабана на просівання зерна крізь друге підбарабання представлений на рис. 3.14.



1-3 – подача 6; 8 і 10 кг/с відповідно

Рисунок 3.14 – Вплив кутової швидкості барабана на просівання зерна крізь друге підбарабання



1-3 – кутова швидкість другого барабана 60; 75 і 95 рад/с, відповідно

Рисунок 3.15 – Вплив подачі хлібної маси в МСП на просівання зерна крізь друге підбарабання

Як видно з рис. 3.15, при збільшенні кутової швидкості другого молотильного барабана, від 60 рад/с до 95 рад/с, відсоток вимолоту зерна збільшується, при подачі $q=10$ кг/с, та кутовій швидкості молотильного барабана 3 – $\omega_{Б}=85-90$ рад/с,

коефіцієнт сепарації другим молотильним барабаном істотно збільшується з 84 % до 91 %.

Як видно з рис. 3.15, при збільшенні подачі від 6 кг/с до 13 кг/с відсоток вимолоту зерна зменшуються.

Отже, провівши досліді МСП, раціональними показниками роботи другого молотильного барабана, при яких буде спостерігатися мінімальна повнота вимолоту такі: подача $q=8-10$ кг/с, кутова швидкість другого молотильного барабана, $\omega_{Б2}=85-90$ рад/с.

Результати досліджень інтенсивності обмолоту та сепарації зерна за довжиною третього підбарабання представлено на рис. 3.16.

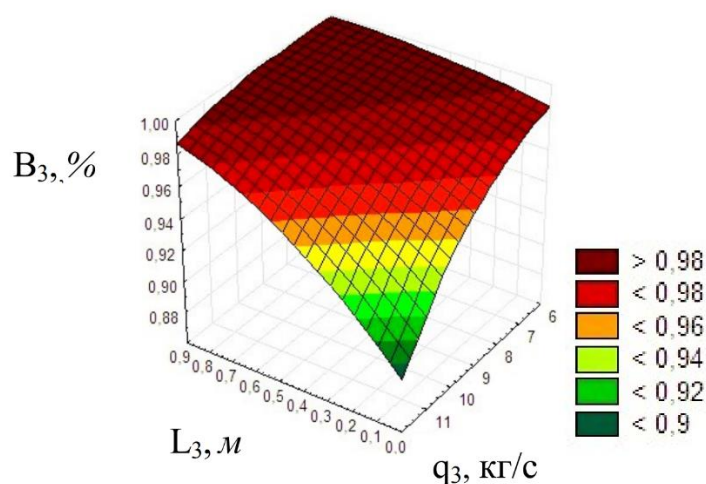


Рисунок 3.16 – Вплив подачі хлібної маси в МСП і довжини третього підбарабання на просівання зерна крізь нього

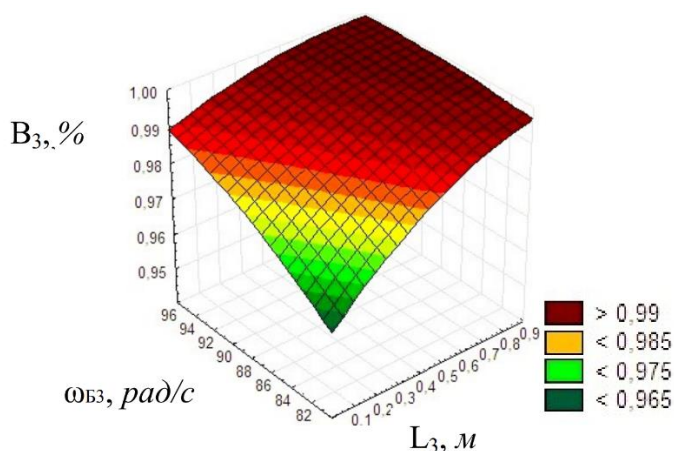


Рисунок 3.17 – Вплив кутової швидкості третього барабана, і довжини третього підбарабання на просівання зерна крізь нього

Із рис. 3.16 видно, що при подачі $q_3=6$ кг/с, за довжиною L_3 частка відсепарованого зерна третім барабаном знаходиться в межах 98-99 %, при подачі $q_3=12$ кг/с частка відсепарованого зерна знаходиться в межах 94-95 %, при збільшені подачі зростає відсоток втрат зерна.

Із рис. 3.17 видно, що при зміні кутової швидкості з 60 рад/с до 95 рад/с, за довжиною L_3 частка відсепарованого зерна третім барабаном знаходиться в межах 98-99 %.

На підставі аналізу рис. 3.18 встановлено, що частка сепарації багатобарабанною молотаркою становить 98-99 % при подачі 6-12 кг/с, та кутовій швидкості 60-96 рад/с. Це свідчить про високий рівень виконання процесу обмолоту.

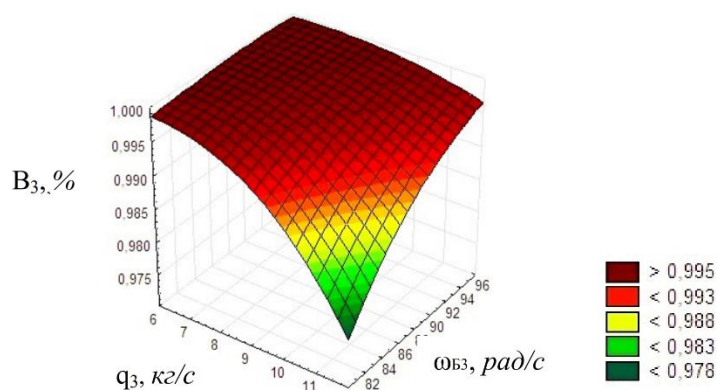
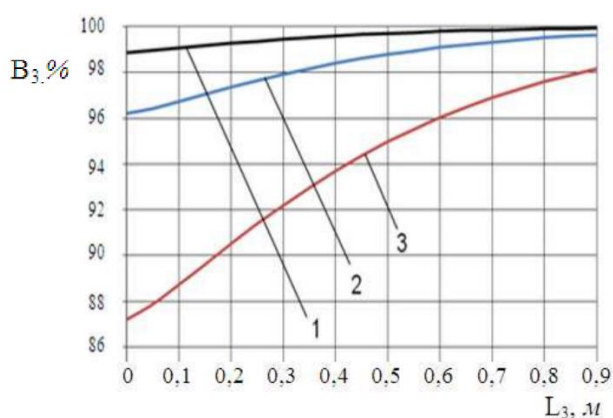


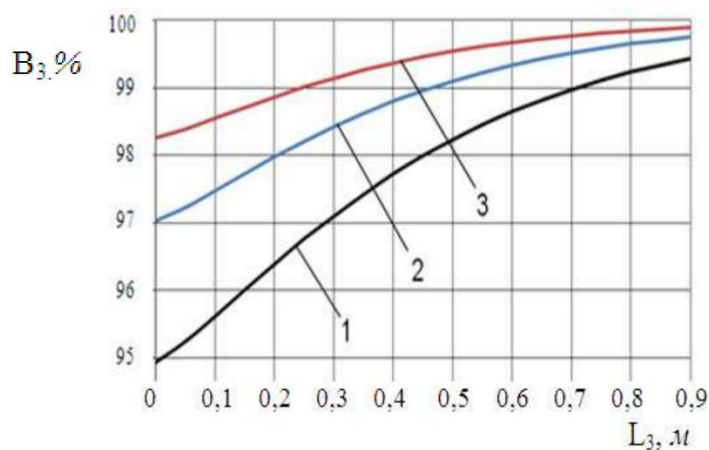
Рисунок 3.18 – Вплив подачі хлібної маси в МСП і кутової швидкості третього барабана на просівання зерна крізь третє підбарабання

Вище сказаного підтверджується і рис. 3.19 – 3.22.



1-3 – подача 6; 9,5 і 13 кг/с відповідно

Рисунок 3.19 – Вплив довжини третього підбарабання на просівання зерна крізь нього при кутовій швидкості третього барабана 75 рад/с.



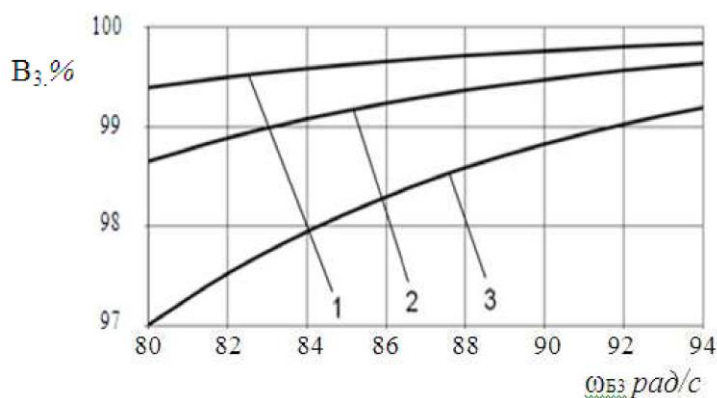
1-3 – кутова швидкість третього барабана 60; 75 і 95 рад/с.

Рисунок 3.20 – Вплив довжини третього підбарабання на просівання зерна крізь нього при подачі 9 кг/с

Як видно з рис. 3.18, при однаковій кутовій швидкості молотильного барабана 75 рад/с, і різній подачі, коефіцієнт обмолоту та сепарації третім молотильним барабаном відповідно: 1 – $q=6$ кг/с; близько 98,2 %, 2 – $q=9,5$ кг/с; близько 97 %, 3 – $q=13$ кг/с; близько 95 % за рахунок збільшення подачі маси зменшується коефіцієнт сепарації третім молотильним барабаном, але досягається повнота вимолоту при подачі до 10 кг/с, коефіцієнт вимолоту та сепарації досягає 99,8 %, при подачі більше 10 кг/с, коефіцієнт вимолоту та сепарації досягає 99,4 %.

Як видно з рис. 3.19, при однаковій подачі 9,5 кг/с, але при різній кутовій швидкості молотильного барабана коефіцієнт обмолоту та сепарації другим молотильним барабаном відповідно: 1 – $\omega_B=60$ рад/с; близько 95 %, 2 – $\omega_B=77$ рад/с; близько 97 %, 3 – $\omega_B=95$ рад/с; близько 98,2 %, за рахунок збільшення кутової швидкості молотильного барабана $\omega_{B3}=60-95$ рад/с, досягається повнота вимолоту третім молотильним барабаном.

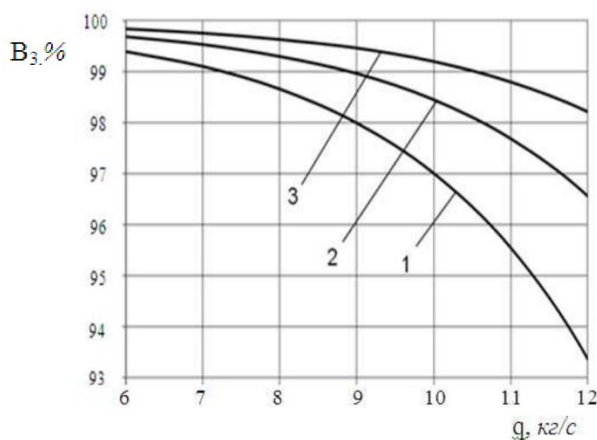
Отже, провівши дослід МСП, раціональними значеннями роботи третього молотильного барабана, при яки буде спостерігатися мінімальна, повнота вимолоту: подача $q=8-10$ кг/с, кутова швидкість третього молотильного барабана 85-90 рад/с.



1-3 – подача 6; 8 і 10 кг/с відповідно

Рисунок 3.21 – Вплив кутової швидкості третього барабана на просівання зерна крізь третє підбарабання

Як видно з рис. 3.21, при збільшенні кутової швидкості третього молотильного барабана, від 60 рад/с до 95 рад/с, відсоток вимолоту зерна збільшується, при подачі $q=10$ кг/с та кутовій швидкості молотильного барабана 85-90 рад/с, коефіцієнт сепарації третім молотильним барабаном досягається 97-99 %.



1-3 – кутова швидкість третього барабана 60; 75 і 95 рад/с.

Рисунок 3.22 – Вплив подачі хлібної маси в МСП на просіювання зерна крізь третє підбарабання

Як видно з рис 3.22, при збільшенні подачі від 6 до 13 кг/с, досягається повнота вимолоту 93-99 %.

Отже, провівши досліді МСП раціональними значеннями роботи третього молотильного барабана, при яких спостерігається, повнота вимолоту: подача $q=8-10$ кг/с, кутова швидкість третього молотильного барабана, 85-95 рад/с.

3.3. Дослідження травмування насіння.

У процесі досліджень визначали також вплив кутової швидкості барабана та зазору між барабаном і декою на травмування зерна.

Дослідження проводили при прямому комбайнуванні пшениці за таких умов: урожайність – 40 ц/га, вологість насіння 15-16 %, забур'яненість 8-10 %, співвідношення маси зерна до незернової частини 1:1,07, подачі хлібної маси в молотарку 3,5-8,0 кг/с, полеглості хлібної маси 15-20 %. За результатами досліджень отримано рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня і на рис. 3.23 приведена поверхня відгуку мікротравмування зерна від кутової швидкості барабана та робочого зазору (на виході із підбарабання) між барабаном і декою:

$$G = 334,4918 - 0,1383 \cdot R_1 - 19,4337 \cdot R_2 + 0,3181 \cdot R_2^2,$$

де G – відсоток травмованого зерна, %; R_1 – показник, що характеризує зазор між барабаном і декою $R_1=h$, мм; R_2 – показник, що характеризує кутову швидкість барабана $R_2=\omega$, рад/с.

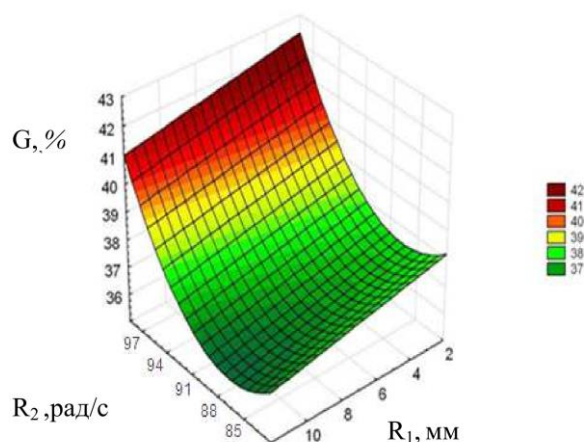
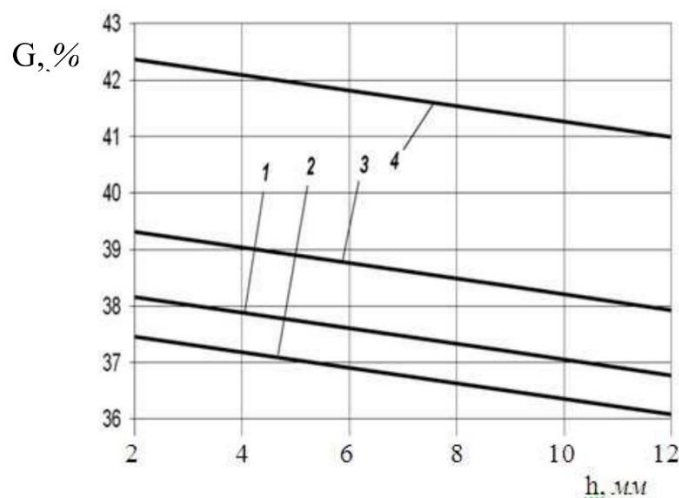


Рисунок 3.23 – Поверхня відгуку мікротравмування зерна від кутової швидкості барабана R_2 та робочого зазору (на виході із підбарабання) між барабаном і декою R_1 на мікротравмування зерна

Із рис. 3.23 видно, що мінімальний відсоток мікротравмування насіння робочими органами МСП складає 37-38 % в діапазоні зміни кутової швидкості барабана 88-90 рад/с і робочого зазору між барабаном і декою (на виході із підбарабання) 8-10 мм.

Вплив робочого зазора (на виході із підбарабання) між барабаном і декою R1 на мікротравмування насіння приведено на рис. 3.24.



1-4 – кутова швидкість барабана 82; 88; 94 і 97 рад/с відповідно

Рисунок 3.24 – Вплив робочого зазору (на виході із підбарабання) між барабаном і декою R₁ кутової швидкості барабана

При кутовій швидкості барабана, 82 рад/с зазорі між барабаном і декою 2 – 4 мм рівень травмування зерна знаходиться в межах 37,9-38,2 %, (рис. 3.24); при збільшенні зазора між барабаном і деком 4-6 мм – $G=37,5-37,9$ %; $h=6-8$ мм – $G=37,2-37,9$ %; $h=8-10$ мм – $G=37,0-37,2$ %; $h=10-12$ мм – $G=36,8-37,0$ %.

Це можна пояснити тим, що при меншій кутовій швидкості барабана за рахунок збільшення зазора рівень травмування зерна зменшується.

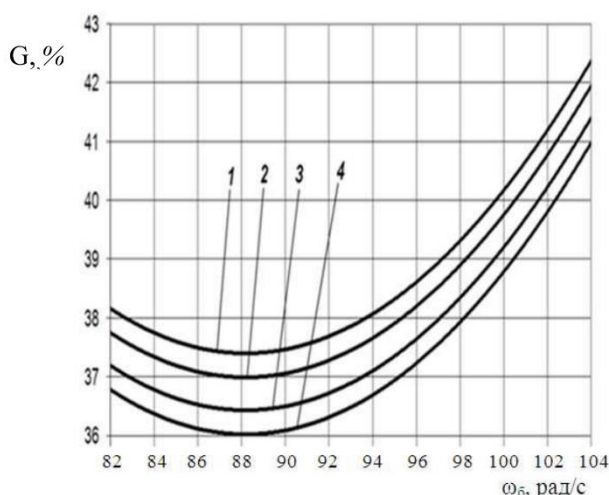
При кутовій швидкості барабана, 90 рад/с зазорі між барабаном і деком $h=2-4$ мм рівень травмування зерна знаходиться в межах $G=37,2-37,5$ %; при збільшенні зазора між барабаном і деком $h=4-6$ мм – $G=36,9-37,2$ %; $h=6-8$ мм – $G=36,6-36,9$ %; $h=8-10$ мм – $G=36,3-36,6$ %; $h=10-12$ мм – $G=36,0-36,3$ %.

При кутовій швидкості барабана, 94 рад/с, зазорі між барабаном і деком $h=2-4$ мм рівень травмування зерна знаходиться в межах $G=39,0-39,3$ %, при збільшенні зазора між барабаном і декою $h=4-6$ мм – $G=38,8-39,0$ %; $h=6-8$ мм – $G=38,5-38,8$ %; $h=8-10$ мм – $G=38,2-38,5$ %; $h=10-12$ мм – $G=37,9-38,2$ %.

При кутовій швидкості барабана, 97 рад/с, зазорі між барабаном і декою $h=2-4$ мм рівень травмування зерна знаходиться в межах $G=42,1-42,3$ %, при збільшенні

зазора між барабаном і декою $h=4-6$ мм – $G=41,8-42,1$ %; $h=6-8$ мм – $G=41,5-41,8$ %; $h=8-10$ мм – $G=41,2-41,5$ %; $h=10-12$ мм – $G=41,0-41,2$ %; Це можна пояснити тим, що при збільшеній кутовій швидкості барабана за рахунок збільшення зазора рівень травмування зерна збільшується.

Отже, раціональними значеннями, за яких спостерігається мінімальне травмування зерна МСП, є кутова швидкість барабана, $\omega_6=90$ рад/с, при мінімальному зазорі $h=9-12$ мм рівень травмування знаходиться в межах $G=36,1-36,5$ %. При зменшенні кутовій швидкості барабана $\omega_6=82$ рад/с і зменшенні зазора $h=2-4$ мм рівень травмування зростає, при кутовій швидкості барабана $\omega_6=90$ рад/с, зазорі $h=6-9$ мм рівень травмування зменшується, при кутовій швидкості барабана $\omega_6=97$ рад/с зазорі $h=9-12$ мм рівень травмування, зростає. Для отримання зерна, близького до товарного, необхідно регулювати кутову швидкість барабана зазорі h мм, вибирати оптимальні параметри.



1-4 – зазор між барабаном і декою 2; 5; 9 і 12 мм відповідно

Рисунок 3.25 – Вплив кутової швидкості барабана на мікротравмування насіння

Як видно із рис. 3.25, при зазорі $h=2$ мм, кутовій швидкості барабана $\omega_6=82-95$ рад/с травмування зерна при $h=2$ мм, $\omega_6=82,0$ рад/с – $G=38,2$ %, збільшується, $\omega_6=88,0$ рад/с – $G=37,5$ %, зменшується, $\omega_6=94$ рад/с – $G=39,3$ %, збільшується, $\omega_6=98$ рад/с – $G=42,4$ %, збільшується. Це пояснюється тим, що через малий зазор маса піддається більшій кількості ударів, отже і травмування зерна збільшується. При зазорі $h=5$ мм кутовій швидкості барабана $\omega_6=82-97$ рад/с травмування зерна

при $h=5$ мм, $\omega_6=82$ рад/с – $G=37,7$ %, збільшується, $\omega_6=88$ рад/с – $G=37,0$ %, зменшується, $\omega_6=95$ рад/с – $G=38,9$ %, збільшується, $\omega_6=97$ рад/с – $G=42,0$ %, збільшується.

При зазорі $h=9$ мм кутовій швидкості барабана $\omega_6=88$ – 97 рад/с травмування зерна при $h=9$ мм, $\omega_6=86$ рад/с – $G=37,2$ %, збільшується, $\omega_6=88$ рад/с – $G=36,5$ %, зменшується, $\omega_6=94$ рад/с – $G=38,3$ %, збільшується, $\omega_6=97$ рад/с – $G=41,4$ %, збільшується.

При зазорі $h=12$ мм, кутовій швидкості барабана $V_6=88$ – 97 рад/с травмування зерна при $h=12$ мм, $\omega_6=86$ рад/с – $G=36,8$ %, збільшується, $\omega_6=88$ рад/с – $G=36,1$ %, зменшується, $V_6=94$ рад/с – $G=37,9$ %, збільшується, $\omega_6=97$ рад/с – $G=41,0$ %, збільшується.

На збиранні зернових культур лімітуючим фактором, що визначає якість роботи комбайна, є величина травмування зерна. При збиранні зернових у фермерських та приватних господарствах за відсутності машин для післязбиральної обробки виникає необхідність отримання після комбайна зерна, за властивостями наближеного до товарного та придатного до тривалого зберігання. Для цього доцільно відрегулювати зернозбиральний комбайн на отримання бункерного зерна з мінімальними показниками травмованого зерна.

Характер залежності величини травмування зерна від кутової швидкості барабана зберігається на всіх режимах, на яких проводили дослідження. При цьому підвищення кутової швидкості барабана до 97 рад/с призводить до збільшення травмування. Найбільш раціональними параметрами, при яких найменше травмування: зазори $h=9$ – 12 мм, кутова швидкість барабана 88 – 91 рад/с, травмування $G=36,1$ – $36,5$ %.

Висновки по розділу.

За результатами досліджень процесу обмолоту та сепарації зернової маси трибарабанним МСП отримано рівняння регресії у вигляді поліномів, що адекватно (рівень довірчої ймовірності $0,95$) описують вплив досліджуваних факторів на

процес обмолоту та сепарації в залежності від подачі, кутової швидкості бичів молотильних барабанів та довжині підбарабань.

Рациональними значеннями конструкційно-технологічних параметрів трибарабанного МСП за умови максимальної інтенсивності обмолоту і сепарації зерна та мінімального травмування, є подача 8-12 кг/с, кутова швидкість молотильних барабанів: першого молотильного барабана – 62-74 рад/с, другого та третього 85-91 рад/с, робочого зазору на виході між барабаном та деком від 12 мм до 2 мм. Зменшення робочого зазору на виході між барабаном та деком в межах від 12 мм до 2 мм супроводжується зростанням мікропошкодження зерна в межах від 1 до 2 %.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація охорони праці в господарстві.

Відповідальність за організацію охорони праці на підприємстві несе його керівник. Наявність служби охорони праці є обов'язковою на кожному підприємстві та в установі. Адміністрація підприємства зобов'язана: забезпечити безпечні умови праці робітників; організувати та проводити інструктажі, навчання працівників з охорони праці; організувати роботу з професійному відборі на робочі місця; здійснювати контроль роботи з охорони праці.

Організацію роботи з охорони праці проводить служба охорони праці. Вид служби охорони праці, чисельність її співробітників залежить від кількості працівників на підприємстві. На підприємствах, де працює більше 50-ти осіб роботодавець створює відділ з охорони праці відповідно до типового положення. На підприємствах виробничої сфери з кількістю працюючих менше 50-ти чоловік функції цієї служби можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку. Якщо працюючих менш ніж 20 осіб, ці обов'язки може виконувати запрошений спеціаліст на договірних засадах. В обов'язки служби охорони праці входить: розробка заходів із запобігання нещасних випадків, із попередження захворювань; заборона роботи, у випадку порушення правил та норм з охорони праці на відповідних ділянках; навчання працюючих охороні праці [13].

Основні завдання служби охорони праці:

- опрацювання ефективної системи управління охороною праці на підприємстві та сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожного працівника;

- організація проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань та інших випадків загрози життю або здоров'ю працівників.

- вивчення та сприяння впровадженню у виробництво досягнень науки і техніки, прогресивних і безпечних технологій, сучасних засобів колективного та індивідуального захисту працівників;

- контроль дотримання працівниками вимог законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці, положень галузевої угоди, розділу "Охорона праці" колективного договору та актів з охорони праці, що діють в межах підприємства;

- інформування та надання роз'яснень працівникам підприємства з питань охорони праці.

В цілях забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища за рішенням трудового колективу може бути створена комісія з питань охорони праці, члени якої виконують свої обов'язки на громадських засадах. У разі залучення до окремих перевірок вони можуть увільнятися від основної роботи на передбачений колективним договором строк із збереженням за ними середнього заробітку. Основним завданням комісії з питань охорони праці підприємства є захист законних прав та інтересів працівників у галузі охорони праці;

Для здійснення громадського контролю за додержанням законодавства про охорону праці на підприємствах, установах, організаціях будь-якої форми власності та виду діяльності, де немає професійної спілки, обирають уповноважених найманими працівниками осіб з питань охорони праці.

4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі із зернозбиральним комбайном.

Зернозбиральні комбайни, інші самохідні машини, тракторні причеми повинні бути зареєстровані в державних органах нагляду, пройти періодичний технічний огляд.

Перед початком зернозбиральних робіт необхідно провести навчання і перевірку знань з питань охорони праці трактористів, водіїв, провести інструктування по видах робіт працівників, яких передбачається залучати до збиральних робіт.

Працівники, які зайняті на механізованих роботах, повинні пройти періодичні медогляди у встановленому порядку. Слід організувати проведення перед рейсових медичних оглядів операторів мобільних механізмів.

Вимоги щодо безпеки під час збирання зернових:

- під час роботи в полі та переміщення по дорогах на зернозбиральному комбайні дозволено перебувати лише комбайнеру;

- запасні ножі збиральних машин необхідно зберігати у дерев'яних чохлах на польовому стані;

- не дозволяється перебування працівників у кузові автомашини або тракторному причепі під час заповнення їх технологічним продуктом, а також під час транспортування продуктом до місця складування;

- комбайни повинні бути забезпечені дерев'яними лопатами для проштовхування злежаного зерна у бункерах до вивантажувального шнека;

- збиральні машини повинні бути забезпечені міцними дерев'яними підкладками на випадок встановлення домкрата під час ремонту чи огляду;

- під час переміщення на інше поле вивантажувальні шнеки та інші робочі органи збиральних машин повинні бути переведені в транспортне положення. Дистанція між збиральними машинами під час переміщення повинна бути не менше 50 м.

Логіко-імітаційна модель виникнення виробничих небезпек при роботі із зернозбиральним комбайном має вигляд [13]:

$$НУ — НД — НС — (А;Т)$$

У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік при працюючій машині (НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

Висновки по розділу.

В розділі охорони праці наведені заходи з охорони праці на виробництві, вимоги щодо безпеки під час збирання зернових культур та показано моделювання виробничих небезпек, дотримуючись яких можна уникнути виробничих травм робітників.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу розрахунків економічних показників покладено: ДСТУ 4397 : 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань [6].

Розрахунок економічної ефективності використання комбайна КЗС «Славутич», обладнаного модернізованим багатобарабанним МСП, на збиранні зернових культур був виконаний у порівнянні із базовим багатобарабанним МСП.

Показники економічної ефективності використання комбайна КЗС «Славутич», обладнаного модернізованим багатобарабанним МСП на збиранні зернових культур визначали за критерієм приведених витрат на виконаний об'єм роботи з урахуванням зміни кількості та якості продукції.

Для вихідних даних використовували:

- ціни на зерно основних сільськогосподарських культур;
- нормативно-довідниковий матеріал для економічної оцінки сільськогосподарської техніки [21];
- результати виробничих випробувань комбайна КЗС «Славутич» обладнаного багатобарабанним МСП;

Згідно методики [6] визначали наступні основні показники економічної оцінки використання комбайна на збиранні зернових культур.

Річний прибуток (O) від експлуатації нової машини становить:

$$O = (I_B - I_H) \cdot W_{3M} \cdot T_3 + E_J; \text{ грн. }, \quad (5.1)$$

де I_B , I_H – прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машині, грн/т; W_{3M} – продуктивність нової машини за годину змінного часу, т/год; T_3 – зональне річне завантаження машини, год; E_J – річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю продукції визначають:

$$I = A + P + 3 + \Gamma + \Phi + M; \text{ грн/т }, \quad (5.2)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн/т; A – затрати на амортизацію комбайна, грн/т ,

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{3M} \cdot T_3} \quad (5.3)$$

де B – балансова вартість комбайна, грн; a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію комбайна; P – затрати на виконання ТО та ремонту комбайна, грн/т.

$$P = \frac{B \cdot r_T}{W_{3M} \cdot T_3} , \quad (5.4)$$

де r_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування комбайна;

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./т;

$$З = \frac{\sum_{i=1}^m J_i \cdot t_i \cdot r_i}{W_{3M}} , \quad (5.5)$$

де J_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання технологічного процесу, техобслуговування та ремонту комбайна, люд; t_i – коефіцієнт зайнятості i -го виробничого персоналу; r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці i -го обслуговуючого персоналу з доплатами та нарахуваннями, грн./люд.-год.

Затрати коштів на паливо-мастильні матеріали, грн;

$$Г = q \cdot Ц_{\Pi} , \quad (5.6)$$

де q – питомі витрати палива, кг/т; $Ц_{\Pi}$ – комплексна ціна пального (враховує вартість мастильних матеріалів), грн/кг;

Затрати на зберігання, страхування та монткування, грн/т.

$$M = \frac{B \cdot r_M}{W_{3M} \cdot T_3} , \quad (5.7)$$

де r_M – коефіцієнт, що враховує вартість відрахувань на зберігання, страхування комбайна. Згідно статистичних даних [6] $r_M=0,015-0,020$.

З урахуванням виразів 5.2 – 5.7 отримаємо значення прямих експлуатаційних витрат на одиницю продукції:

$$I = \frac{B}{W_{3M} \cdot T_3} \cdot \left(a + r_T + \frac{\beta \cdot (n+1)}{100\% \cdot 2} + 0,0175 \right) + q \cdot Ц_{\Pi} + \frac{\sum_{i=1}^m J_i \cdot t_i \cdot r_i}{W_{3M}} ,$$

Річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції, визначали за формулою:

$$E_{\text{Я}} = \sum_{j=1}^n (C_j \cdot V_j - C'_j \cdot V'_j) ,$$

де C_j , C'_j – закупівельна ціна j -ої культури, зібраної комбайном в базовому та модернізованому варіантах відповідно, грн/т; V_j , V'_j – кількість j -ої культури, зібраної комбайном в базовому та модернізованому варіантах відповідно, т.

Протягом сезону зернозбиральний комбайн працює на збиранні багатьох сільськогосподарських культур, вартість виробництва та ціна реалізації зернових, зернобобових та деяких технічних культур згідно з статистичними даними варіюється в доволі значних межах [19].

Враховавши співвідношення між обсягами збирання основних сільськогосподарських культур в Україні, було прийнято для розрахунків середню вартість 1 тонни зернових культур 6702,2 грн.

У результаті виконання НДДКР метою, якої була модернізація, є покращення процесу обмолоту та сепарації зернових культур. Модернізація дозволила зменшити собівартість сільськогосподарської продукції за рахунок зменшення ступеня подрібнення зерна на 1 % від загального намолоту; зменшити втрати зерна за рахунок зниження подрібнення зерна; зменшення мікропошкодження зерна з 26,2–30,0 % до 20,4–24,1 % від загального рівня травмування зерна; збільшити приріст зерна за рахунок зменшення подрібнення та пошкодження, втрати розпилом на кожні 869,25 т намолоченого додатково 8,7 т покращити якість зерна за рахунок зменшення мікропошкодження.

Результати розрахунків економічних показників застосування комбайна КЗС «Славутич», обладнаного модернізованим багатобарабаним МСП на збиранні зернових культур наведені в табл. 5.1.

Як видно з табл. 5.1 застосування комбайна КЗС «Славутич», обладнаного модернізованим багатобарабаним МСП на збиранні зернових культур, дозволив зменшити прямі експлуатаційні витрати, збільшити приріст додатково намолоченого зерна, та отримати річний економічний ефект.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності результатів впровадження модернізованого МСП зернозбирального комбайна

№	Назва показника	Позначення	Значення показника	
			базова машина	нова машина
1	Балансова вартість комбайна, грн.	<i>B</i>	3839100	3839100
2	Продуктивність комбайна за годину змінного часу, т/год	<i>W_{зм}</i>	10	10
3	Зональне річне завантаження машини, год	<i>T_з</i>	200	200
4	Термін служби комбайна, років	<i>n</i>	7	7
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію комбайна	<i>a</i>	0,143	0,143
6	Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування комбайна	<i>r_T</i>	0,068	0,068
7	Питомі витрати пального, кг/т	<i>q</i>	3,5	3,5
8	Комплексна ціна пального, грн/кг	<i>Ц_п</i>	22	22
9	Кількість основного персоналу, зайнятого для виконання технологічного процесу, ТО та ремонту комбайна, люд.	<i>L₁</i>	2	2
10	Коефіцієнт зайнятості основного персоналу	<i>t₁</i>	1	1
11	Погодинна тарифна ставка оплати праці основного персоналу з доплатами та нарахуваннями, грн./люд, год	<i>r₁</i>	45	45
12	Прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машині, грн	<i>И</i>	896,8	893,1
13	Економія прямих експлуатаційних витрат, грн/т	<i>O₁</i>	-	3,76
14	Середня закупівельна ціна зібраних культур комбайном, грн/т	<i>Ц</i>	6702,2	6702,2
15	Річний обсяг додатково зібраної продукції зернозбиральним комбайном, т	<i>V</i>	-	8,7
16	Річний річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	<i>O</i>	-	58309,1

Таким чином, використання модернізованого МСП забезпечує зменшення ступеня подрібнення зерна на 1 % від загального намолоту; зменшується мікропошкодження зерна; збільшується приріст зерна намолоченого додатково на 8,7 т, покращується якість зерна за рахунок зменшення мікропошкодження. Сумарний річний прибуток від експлуатації нової машини – 58309,1 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами досліджень наведемо такі загальні висновки:

1. Аналіз відомих конструкцій МСП показав, що на даному етапі розвитку комбайнобудування найбільше розповсюдження в світі отримали МСП барабанного типу, мають ряд таких недоліків: висока швидкість хлібної маси в МСП і гранично мала довжина її шляху (експозиція руху) в молотильному зазорі не дають можливості забезпечити повну сепарацію зерна. За даними багатьох джерел, сепарація зерна крізь підбарабання складає 75-90 %. Використання запропонованих параметрів та режимів роботи дає можливість поліпшити якість обмолоту та сепарації маси, зменшити втрати зерна, що забезпечує зменшення приведених витрат на збиранні.

2. Розроблена математична модель ймовірності покращення процесу обмолоту, сепарації маси та зменшення травмування зерна в молотильному зазорі МСП дозволила отримати залежності впливу конструкційних та технологічних параметрів на рівень обмолоту, сепарації, травмування та втрат зерна. Встановлено, що значним резервом покращення процесу обмолоту, сепарації маси та зменшення рівня травмування зерна МСП може бути збільшення коефіцієнта співвідношення барабана до кількості його бичів, особливо при збільшених швидкостях у молотильному зазорі. Так, збільшення цього коефіцієнта з 0,07 до 0,10-0,11 веде до покращення сепарації маси та зменшення рівня травмування зерна на 45-55 %.

3. Аналіз математичної моделі ймовірності травмування зерна дозволив зробити припущення, що загальний рівень травмування зерна МСП можна зменшити за рахунок зменшення колової швидкості першого барабана на 20-25 %. При цьому зменшується сепарувальна спроможність першого барабана МСП на 18-22 %, та зростає сепаруюча спроможність другого та третього барабана МСП.

4. Для забезпечення ефективного обмолоту, сепарації маси за мінімальних втрат і травмування зерна за МСП швидкість першого барабана повинна бути в межах 68-74 рад/с, а другого і третього 82-88 рад/с. При цьому травмування зерна у порівнянні з існуючим МСП знижується на 35-40 %.

5. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що втрати зерна за очисткою МСП при збиранні зернових культур складають 0,45-0,5 %, чистота бункерного зерна – 98-99 %. Раціональними конструкційно-технологічними параметрами МСП за умови максимальної інтенсивності обмолоту і сепарації зерна та мінімального травмування є: подача 8-12 кг/с, кутова швидкість бичів молотильних барабанів: першого молотильного барабана, 68-74 рад/с, другого та третього 86-91 рад/с, робочий зазор на виході між барабаном та декою в межах від 12 мм до 2 мм. Зменшення робочого зазору на виході між барабаном та декою в межах від 12 мм до 2 мм супроводжується зростанням рівня травмування зерна в межах 1...2 %.

6. Результати експериментальних досліджень свідчать про високу якість виконання технологічного процесу обмолоту та сепарації запропонованого МСП, що вказує на доцільність його використання в зернозбиральних комбайнів різноманітних типів. Впровадження у промислове виробництво модернізованого МСП забезпечить загальний річний економічний ефект – 58309,1 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфьоров С.А., Брагинець В.С. Обмолот та сепарація зерна в молотильних пристроях як єдиний ймовірнісний процес. Трактори та сільгоспмашини. 1972. №4. С. 56-68.
2. Василенко І.Ф. Розвиток теорії та конструкції зернозбирального комбайна: Механізація та електрифікація сільського господарств : Київ, 1959. С. 23-44.
3. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.
4. Вольф В.Г. Статистична обробка дослідних даних. Київ : Колос, 1996. 255 с.
5. Гольцяпін В.Я. Зарубіжні сільськогосподарські технології та техніка. Трактори та сільськогосподарські машини. 1997. № 3. С. 35-40.
6. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 16 с.
7. Зарубіжні комбайни. URL: <https://www.claas.ua/cl-pw-ru/produktsiya/zyernouborochnyye-kombajny/tucano450-320-lrc> (дата звернення: 20.09.2024).
8. Зернозбиральні комбайни : веб-сайт. URL: <https://agrodoctor.ua/ru/content/217-kombajn-zernozbiralnij-fortschritt-seriya-500-mdw> (дата звернення: 4.10.2024).
9. Зернозбиральні комбайни : веб-сайт. URL: <https://www.fendt.com/ua/kombayny> (дата звернення: 18.09.2024).
10. Зернозбиральні комбайни. URL: <https://www.claas.ua/cl-pw-ru/produktsiya/zyernouborochnyye-kombajny/tucano580-560-2018> (дата звернення: 20.09.2024).
11. Зернозбиральні комбайни. URL: <https://www.deere.ua/uk/%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8/> (дата звернення: 5.10.2024).

12. Кленін М.І. Дослідження вимолоту та сепарації зерна : дис. ... д.т. н., 1977. 523 с.
13. Коробко О.В., Троян Ю.І. Методичні вказівки до практичної роботи. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.
14. Липкович Е.І. Процес обмолоту та сепарації в молотильних апаратах зернозбиральних комбайнів. Київ, 1973.
15. Мальцев П.М., Ємельянова Н.А. Основи наукових досліджень: навч. посібник. Київ : Вища школа, 1982. 191 с.
16. Машина для збирання сільськогосподарських культур (конструкції, теорія та розрахунок): навч. посібник. Київ, 2010, 325 с.
17. Назаров Г.І. Деякі питання теорії молотильного барабана з урахуванням теорії електроприводу. Землеробська механіка : зб. праць. Київ, 1982. Т.1. С. 151-165.
18. Огороков І.Ф., Перстнів С.М., Тартаковський І.І. Про деякі питання теорії обмолоту: праці Українського науково-дослідного інституту сільськогосподарського машинобудування. Київ, 1963. Вип.1. С. 81-86.
19. Очков В.Ф. Mathcad Plus 6.0 для студентів і інженерів. Київ : Комп'ютер Пресс, 1996. 238 с.
20. Погорілий Л., Коваль С. Прогноз розвитку зернозбиральної техніки на початок ХХІ ст. Техніка в АПК. 1996. № 3. С. 2-7.
21. Удовенко Є.Я. Методика визначення економічної ефективності використання у сільському господарстві результатів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, нової техніки та раціоналізаторських пропозицій. Київ, 1980. 112 с.