

ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти

«магістр»

бакалавр, магістр

**на тему: «Покращення якості транспортування зерна за рахунок
удосконалення сектору розвантаження скребкового елеватора
зернозбирального комбайна»**

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія

код та найменування спеціальності

Ступеня вищої освіти «магістр» групи 4

Тумаков Ігор Вячеславович

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Бурлака О. А.

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Яхін С. В.

Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Дипломна робота щодо здобуття магістерського ступеня, виконана за темою **«Покращення якості транспортування зерна за рахунок удосконалення сектору розвантаження скребкового елеватора зернозбирального комбайна»**.

Пояснювальна записка дипломної роботи складається з 63 сторінок надрукованої науково-кваліфікаційної інформації, остання в тому числі включає 5 таблиць, 27 рисунків, 43 формули та 2 аркуші додатків.

Презентаційно-графічна частина міститься на десяти слайдах.

Перший розділ дипломної роботи виконаний у вигляді оглядового дослідження конструктивних, технічних, технологічних характеристик скребкових елеваторів молотарки зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Доведена актуальність обраної наукової тематики.

У другому розділі наведено складові методичного та методологічного характеру відносно програми проведеного наукового дослідження.

Результати теоретичних розрахунків та викладок, а також результати експериментальних досліджень та польових випробувань удосконалених технічних рішень за темою роботи містить третій розділ.

Сукупність рекомендацій та пропозицій щодо практичного запровадження отриманих результатів досліджень та розрахунків за темою дипломної роботи, розміщено у четвертому розділі.

Основні висновки магістерського дослідження подані як обґрунтування та доведення оптимальних конструкторсько-технологічних характеристик зони розвантаження скребкових елеваторів самохідного зернового комбайна КЗС-9-1 «Славутич».

Ключові слова: ЕЛЕВАТОР, ЗЕРНО, ПШЕНИЦЯ, ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИЙ КОМБАЙН, ТЕХНОЛОГІЯ, РОЗВАНТАЖЕННЯ, ВІДЦЕНТРОВА СИЛА, РІВНЯННЯ, МЕТОДИКА, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕМПЕРИЧНІ ПОВЕРХНІ.

ВСТУП

Актуальність теми. Одною з основних проблем технологічних процесів щодо транспортування врожаю різноманітних сільськогосподарських культур скребковими елеваторами молотильно-сепарувальних систем зернозбиральних комбайнів є проблема подрібнення та компресійного травмування зерна.

Яскравим прикладом такого проблемного явища можливо навести взаємодію зернового потоку в елеваторі зернозбирального комбайну з несучими робочими органами: тягово-приводними ланцюгами, приводними зірочками та скребками.

Ще одним недоліком у роботі скребкових елеваторів є явища зворотного осипання певної частини зерна, що за декількома причинами не пройшло зону перевантаження чи розвантаження.

Важливо, що кількість зруйнованого зерна подрібненням та компресійним пошкодженням в наш час ніяк не контролюється та визначається. Таке яскраво виражене явище, якщо й комбайн у сукупності має невірні технологічні регулювання, можливо замітити тільки наявністю пилу білуватого відтінку на поверхнях робочих органів молотарки та транспортних систем комбайна.

Тобто явище зворотного осипання та механічного пошкодження зерна є причиною зменшення паливної економічності зернозбирального комбайна та прискореного зношування транспортної частини робочих органів молотарки.

Отже вектор дослідження у дипломній роботі **«Покращення якості транспортування зерна за рахунок удосконалення сектору розвантаження скребкового елеватора зернозбирального комбайна»** є актуальним та важливим.

Мета дослідження даної дипломної роботи визначена як удосконалення якісно-кількісних характеристик транспортування та розвантаження зерна елеватором комбайна.

Основні завдання дослідження сформовані як:

1. Дати характеристику та описати умови і особливості транспортного процесу і процесу розвантаження зернового потоку у скребкових елеваторах зернової групи зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Акцентувати недоліки та напрямки удосконалення таких об'єктів дослідження.
2. Навести складові методик і методологій відносно теоретичного та експериментального дослідження процесів проходження та розвантаження за під дією відцентрово-гравітаційних сил зернових потоків в елеваторах комбайна.
3. Навести теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження моделі руху частки зерна під час відцентрового розвантаження. Запропонувати оптимізовані інженерні рішення по досліджуваному питанню для зернозбиральних комбайнів КЗС-9-1 «Славутич».
4. У рекомендаціях по практичному запровадженню результатів наукового дослідження крім оптимізованих конструкційних рішень по елеваторам зернозбирального комбайна та якості їх роботи, навести елементи удосконалень виробничих технологічних операцій по обмолоту зернових культур за результатами екологічного моніторингу, системи охорони праці та. Довести економічну доцільність пропонованих організаційно-технічних рішень.

Об'єкт досліджень – зернова транспортна група молотильно-сепарувальної системи, що містить зернозбиральний комбайн КЗС -9-1 «Славутич» виробництва АТ «Херсонський машинобудівний завод».

Предмет дослідження: кількісно-якісні характеристики зернових потоків в зерно-транспортних лінях та скребкових елеваторах зернозбиральних комбайнів КЗС-9-1 «Славутич».

Методи дослідження: під час написання даної дипломної роботи було застосовано: методи оглядових досліджень; методи математичного

моделювання; диференційно-інтегральне числення; методи статистичної обробки експериментальних даних, в тому числі і методики кореляційно-регресійного аналізу.

Теоретична та практична вагомість та значимість отриманих результатів дипломної роботи:

- на основі побудованих та розрахованих математичних моделей руху частки зернового потоку в скребковому елеваторі зернового комбайна, під час виконання розвантаження зерна під дією відцентрових сил, визначені оптимальні геометричні розміри верхньої частини скребкового елеватора у співвідношенні зі швидкістю транспортування зерна. Для скребкового елеватора зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» оптимальна швидкість транспортування на високоврожайних зернових культурах – 370 об/хв.; на низьковрожайних сільськогосподарських культурах по співвідношенню маси зерна і маси незернової частини – 300 об/хв. Величина кута, що характеризує розвантажувальну зону, склала 140° ;

- проведено екологічну оцінку та запропоновано систему удосконалень щодо покращення екологічної безпеки механізованих операційних технологій обмолоту зернових культур сучасними зернозбиральними комбайнами;

- підсилено акцент щодо постійного контролю та удосконалення вимог з охорони праці на виробничих підрозділах зерно продуктового підкомплексу аграрних підприємств;

- здійснена техніко-економічна оцінка переваги результатів щодо удосконалення скребкового елеватора зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз транспортних механізмів, що формують зернові потоки

Технологічний процес обмолоту зерна, що здійснюється молотильно-сепарувальною системою зернозбирального комбайна, досить складний. Початок проходження відсепарованої зернової маси відбувається на стрясній дошці молотарки. (поз.9 рис.1.1.).

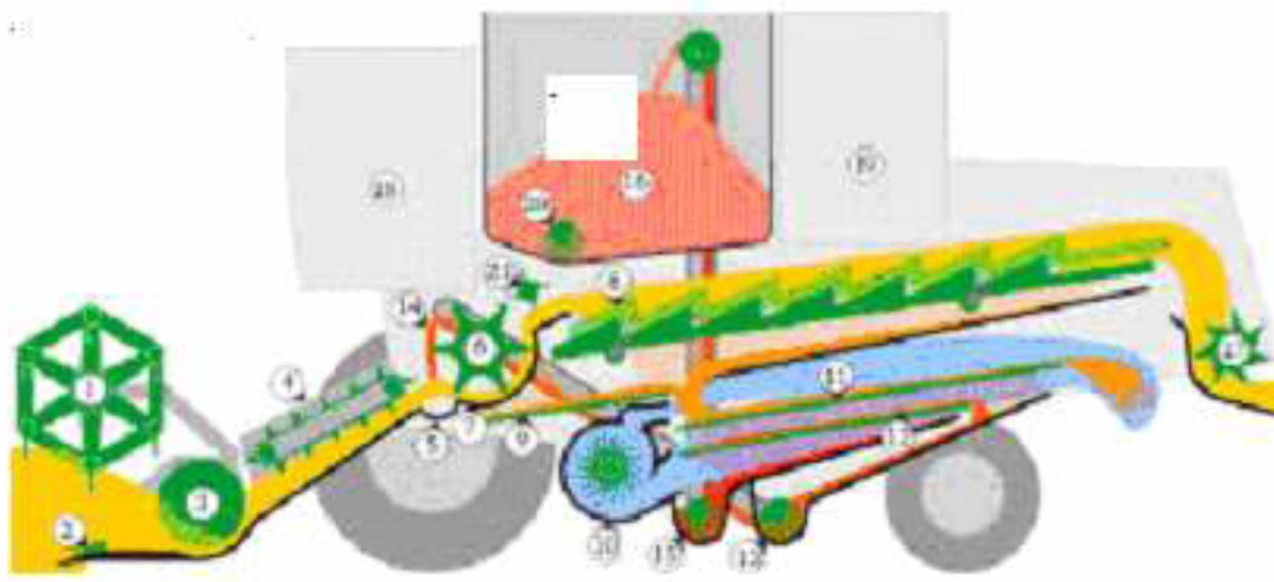


Рисунок 1.1 – Схема щодо утворення технологічних потоків в МСП зернозбирального комбайна з тангенціальним барабаном.

Зерновий потік в даному випадку називають сумішшю зерна з дрібним ворохом – полова, дрібні домішки листостеблової частини зернових культур. Характер проходження такого зернового потоку є нерівномірним з коливальною пульсацією відносно повздовжньої вісі молотарки. Відомо, що основне завдання грохоту (скатної дошки) – вирівняти зернову масу, що просипалась через підбарабання, та максимально рівномірними по ширині пульсуючими порціями подати таку масу на систему повітряно-решітної очистки.

Сучасні зернозбиральні комбайни провідних світових виробників мають різноманітні конструкції грохоту, що поліпшують процеси вирівнювання та стабілізації подачі зернової маси з грохоту на симтему решетно-повітряного очищення.

Деякі моделі, в тому числі і комбайна компанії “Massey Ferguson”, мають механізми, що в автоматичному режимі вирівнюють молотарку у горизонтальній площині, незалежно від ухилів рельєфу поля.

Зернозбиральні комбайни фірми “Gohn Deere” (США) мають щодо висвітлюваного питання, конструкційне рішення - дообладнання грохоту молотарки шнековими розподільно-транспортними секціями.

Наступним етапом проходження зернової суміші є повітряно-решетний стан зернозбирального комбайна.

Після очищення маємо потік відносно чистого зерна, що потрапляє через зерно-транспортну систему молотарки у зерновий бункер та потік дрібного вороху, що потрапляє на повторний домолот.

Якість роботи систем повітряно-решетного очищення залежить від інтенсивності та рівномірності повітряного потоку, яким обдуваються решета та куту між площиною решітного стану та горизонтальною поверхнею поля.

Інженери провідних світових виробників зернозбиральної техніки запропонували для покращення роботи повітряно-решетного стану систему горизонтального вирівнювання (зернозбиральні комбайни фірми “Massey Ferguson”) або систему, що при русу зернозбирального комбайна під кутом до горизонту, змінює напрямок коливань решет, тим самим рівномірно розподіляючи зерновий потік по ширині молотарки. (зернозбиральні комбайни фірми “CLAAS”).

Транспортно-зернову групу молотарки зернозбирального комбайна складають зерновий, завантажувальний та вивантажувальний шнеки, скребковий зерновий елеватор, шнек та елеватор лінії домолоту зерна. (рис.1.1).

Якщо система повітряно-решетної очистки виокремила недомолочені колоски, то такий потік дрібного вороху потрапляє через колосовий шнек та колосовий скребковий елеватор на пристрої домолоту КЗС-9 “Славутич”) чи основні молотильні барабани (комбайни фірм “CLAAS”, “Gohn Deere”).

Гвинтові шнеки зерно-транспортної групи молотарки зернозбирального комбайна розташовані горизонтально та під різними кутами відносно поверхні поля.

Якщо описувати зернові потоки, що формуються за допомогою гвинтових шнеків (рис.1.2), то їх визначають як безперервні та пульсуючі

Математична модель такого потоку представлена і описується взаємодією типу гвинт – «аморфна уявна гайка».

Характер проходження зернового потоку та потоку дрібного вороху залежить від ступеня очистки зернової суміші решетно-повітряним станом зернозбирального комбайна а також від зміни кутів нахилу шнеків відносно поверхні поля під час руху зернозбирального комбайна. На схемі такі кути нахилу позначені β , ($\beta = \pm 15^\circ$) (рис.1.2).

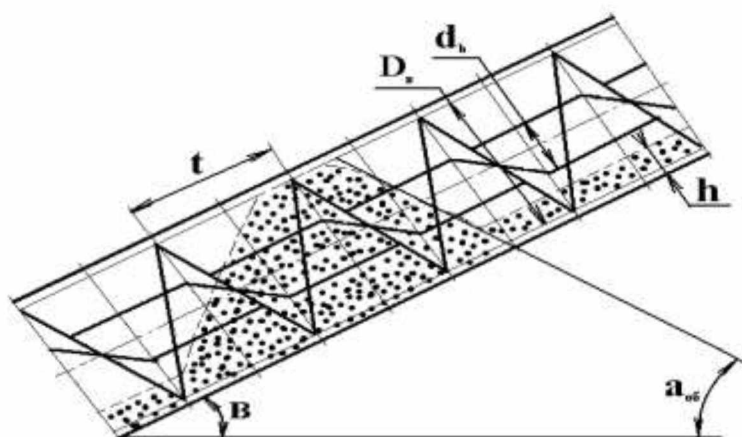


Рисунок. 1.2 - Схема похилого шнека

Таким чином основні елементи зерно-транспортної групи молотарки зернозбирального комбайна - шнекі та скребкові елеватори при здійсненні теоретичних розрахунків розглядають за умовами роботи, як такі, що розташовані горизонтально або нахилені під певними кутами до горизонту.

Продуктивність шнекового транспортера можливо визначити за виразом [3,4,5,6,7]:

$$Q = 48n_b t \rho h^2 \sqrt{D_b / h - 1}, \quad (1.1)$$

де n_b – обертова частота гвинта шнека, хв^{-1} ; t – крок шнекового гвинта, м; ρ - питома вага зерна, т/м^3 ; h – гіпотетична висота транспортованого шару зерна, м.

Щодо основних недоліків відносно роботи шнекових транспортерів, то до таких недоліків відносять збільшені питомі енергозатрати на транспортування, утворення корок при транспортуванні зернового матеріалу з підвищеним рівнем вологості, компресійне пошкодження та руйнування подрібненням зерна в процесі транспортування, підвищеними величинами сил тертя при взаємодії шнек – зерно.

Іншими основними зерно транспортними органами молотарок зернозбиральних комбайнів є скребковий елеватори. Як правило це зерновий та колосовий круто нахилені елеватори.

Зернові потоки, що утворюються робочими органами скребкових елеваторів, мають ярко виражений дискретно-пульсуючий характер. Це обумовлено порціями зерна, що транспортують скребки елеваторів.

В такому випадку якість здійснення транспортних операцій залежить від конструкційного виконання складових скребкового елеватора та швидкості проходження ланцюга зі скребками.

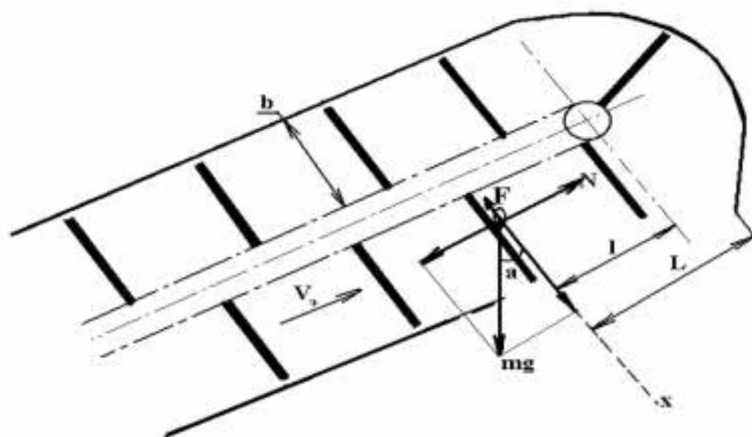


Рисунок 1.3 - Схема до визначення розмірів вивантажувального вікна елеватора [8].

За теоретичними дослідженнями Є. С. Босого виведено диференційні рівняння, що оптимізують геометричні параметри вивантажувального прямокутного отвору (рис. 1.3.) у скребковому похилому елеваторі, де відбувається нижня подача зерна. Основною умовою при цьому є те, що вивантаження зерна здійснюється під дією домінуючої гравітаційної сили.

Основними фізичними силами, що діють на частку зернового потоку, є сила ваги зерна - mg ; сила нормальної реакції поверхні скребка N ; F – сила тертя.

Систему координат обрано з додатнім напрямком руху зернової суміші по поверхні скребка.

Тоді диференційне рівняння щодо переміщення зерна по скребку під час гравітаційного розвантаження, можливо записати наступним чином:

$$m(d^2x/dt^2) = mg\cos(a) - F \quad (1.2)$$

Математичним розв'язком такого рівняння буде функціональна залежність:

$$X = (gt^2/2)[\cos(a+\varphi)/\cos\varphi] + C_1t + C_2, \quad (1.3)$$

де: φ - довідковий емпіричний коефіцієнт, який враховує ступінь впливу на продуктивність транспортування зернам елеватором кута нахилу відносно горизонтальної площини.

При здійсненні позначення t_1 – часу, за який виокремлена частка зернового потоку проходить відстань висоти скребка, то, у такому випадку, мінімально обґрунтоване значення довжини прямокутного отвору зони вивантаження зерна елеваторам з дотриманням закономірностей повного гравітаційного розвантаження може бути обрахована за наступним виразом [8]:

$$l = V_{\vartheta}t_1 = V_{\vartheta} \sqrt{\frac{2b\cos\varphi}{g\cos(a+\varphi)}} \quad (1.4)$$

При виготовленні похило розташованих скребкових елеваторів з гравітаційним типом розвантаження зернової суміші приймають довжину вивантажувального отвору $L > l$.

Якщо скребкові елеватори розташовані вертикально або під кутами до горизонту, близькими до вертикальних, то в техніці сільськогосподарського машинобудування відомо три основних види розвантаження зернового потоку: гравітаційне, відцентрово-гравітаційне та відцентрове розвантаження [3,4,5,8].

За умовами конструкційного виконання скребкових елеваторів [8] з використанням технологічно-розрахункової схеми, поданої у [8] - рис.1.4., можливо зазначити: умови здійснення способу розвантаження зернового потоку скребковим елеватором визначаються шляхом підрахунку значення відстані від центру обертання валу верхньої приводної зірочки - т. О та точкою перетину рівнодіючої сили R з вертикально розташованою симетричною віссю (точка Р). Таку відстань позначено a .

Використавши властивості подібності трикутників ApO та GRA :

$$r/a = P_{ин}/G = r\omega^2/g; a = g/\omega^2 = g/(2\pi n)^2, \quad (1.5)$$

де r – обертовий радіус центру ваги скребка елеватора, м; a – розрахункова відстань відносно центра обертання вісі приводного верхнього валу елеватора та полюсом. Тут полюс – точка, що отримана перетином рівнодіючої сили R та вертикально розташованою симетричною віссю (точка Р).

$P_{ин} = m r \omega^2$ – відцентрова сила інерції, кг·м/с²;

$G = mg$ – вага порції зерна, що транспортується одним скребком, кг;

ω - значення кутової швидкості обертання верхнього валу привідної зірочки скребкового елеватора, с⁻¹.

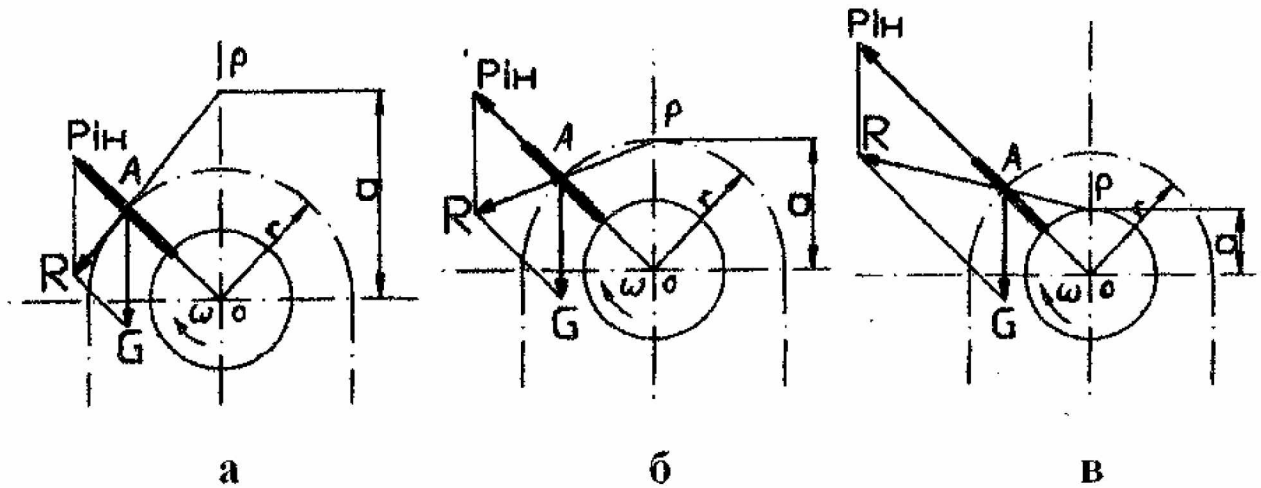


Рисунок 1.4 – розрахункові узагальнені схеми дії сил відносно виокремленої порції зерна, що діють від скребка елеватора у верхній його частині (при визначенні виду розвантаження зерна) [3,4,5]: а – гравітаційне розвантаження $a > r$; б – відцентрово-гравітаційне розвантаження $a = r$; в – відцентрове розвантаження $a < r$.

Якщо виконується умова нерівності $a < r$ то система розвантаження скребкового елеватора має відцентровий характер.

З урахуванням технологічних та конструкційних характеристик зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», отримано:

$$a = 9,8 / (2 \cdot 3,14 \cdot 5,9)^2 = 0,0071 \text{ м.}$$

Використавши значення робочих креслень:

$$r = 22 \text{ мм} = 0,022 \text{ м.}$$

Отже, нерівність $a < r$ виконується. В такому випадку визначаємо характер розвантаження зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», як відцентровий

Наступним етапом можливо розрахувати значення швидкості переміщення ланцюга зі скребками елеватора зернозбирального комбайна [8]

$$V_e = \omega D_d / 2 = \pi n_n D_d, \quad (1.6)$$

де n_n – розрахункова частота обертання приводного валу верхньої зірочки скребкового елеватора, c^{-1} ($n_n=5,9 c^{-1}$);

D_d – значення діаметру ділильного кола зірочки приводу ланцюга зі скребками, м. У випадку технологічно-конструктивних параметрів елеватора комбайна «Славути», маємо:

$$V_e=3,14 \times 5,9 \times 0,042=0,778 \text{ м/с};$$

Скребкові елеватори зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» мають стандартизовану відстань між сусідніми скребками, яка дорівнює 152мм, [з конструкторської документації КЗС-9].

Відповідно частота переміщення скребків:

$$v = V_e / T \quad (1.7)$$

де T – крок ланцюга зі скребками, мм;

$$v = 0,778 / 0,160 = 5,0 c^{-1}$$

Номінальна продуктивність транспортування зерна скребковим елеватором розраховується з використанням формули [3,7,8]:

$$Q=3600c\Psi\rho bsV_e \quad (1.8)$$

де Q – Номінальна продуктивність транспортування зерна скребковим елеватором, кг/с; c – емпіричний коефіцієнт, за допомогою якого можливо врахувати дію швидкості переміщення ланцюга зі скребками ($c=0.75 \dots 0.97$); Ψ - емпіричний коефіцієнт, що враховує ступінь використання зерном простору жолоба.

Ψ можливо наближено розрахувати з використанням формули [7,8]:

$$\Psi = 0,01[\beta' - \gamma], \quad (1.9)$$

де β' - емпіричний умовний кут, значення якого приймається 60° або 85° в залежності від характеристик сипкості транспортованого зерна;

γ - кут, що утворений повздожньою лінією симетрії скребкового елеватора та горизонтальною площиною;

Можливо застосувати ($\Psi=\Psi' C_3$);

C_3 – емпіричний коефіцієнт, введений для врахування впливу зміни кута нахилу елеватора відносно горизонту на зміну продуктивності елеватора[3,4,8,];

ρ - значення питомої ваги зерна, що транспортується, т/м³;

b – значення висоти скребка, м;

s – значення довжини скребка елеватора, м.

Якщо здійснюється рух зернозбирального комбайна по поверхні поля під час обмолоту зерна, то кут β може приймати змінні випадкові значення, відповідно Q розглядається як функція від аргументу β :

$$Q=36c\rho bsV_e [\beta' - \gamma], \quad (1.10)$$

Величини коливань кутів нахилу транспортера відносно горизонту γ можливо визначити з використанням рекомендацій щодо дозволеного нахилу поверхні поля на схилах, де планується використовувати комбайн : $\pm 15^0$.

У випадку обмолоту зерна озимої пшениці зернозбиральним комбайном, продуктивність зернового елеватора буде коливатися у діапазоні:

$$Q = 36 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,08 \cdot 0,2 \cdot 0,778 \cdot [60^0 - (75^0 \pm 15^0)] = 3,5 \dots 5,4 \text{ кг/с (КЗС-9-1)}$$

Таким чином, під час виконання теоретичного дослідження щодо визначення діапазонів номінальної продуктивності транспортування зерна скребковим елеватором зернозбирального комбайна, розрахункові показники останньої повинні бути у межах 0 до 5,5 кг/с.

Як описано вище, потік зерна, що транспортується скребковим елеватором зернозбирального комбайна має рівнозмінну пульсуючу природу. Має місце яскраво виражений (рис.1.5.) рух зернової маси у внутрішній частині жолоба скребкового елеватора здійснюється окремими частинами, розташованими між скребками елеватора.

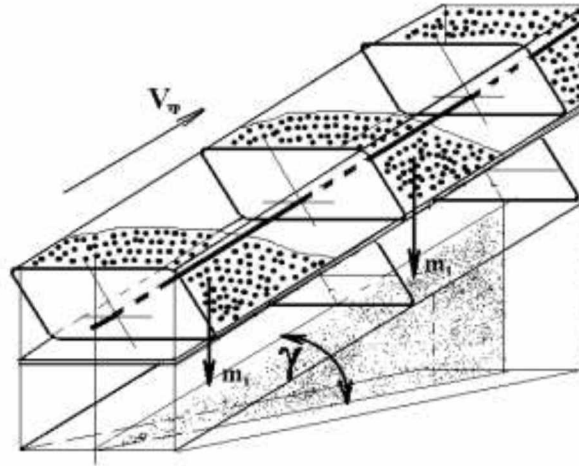


Рисунок 1.5 – Технологічна схема до обчислення порціальної ваги зерна, що переміщується скребком елеватора

Масу m_i окремої порції, що транспортує один скребок (масу тіла волочіння), можна визначити за формулою [8]:

$$m_i = (b_{ж}^2 h_T^2) / ((2 n_{\delta} (f_T + \text{Sin} \gamma) (b_{ж} + n_{\delta} h_T))), \quad (1.11)$$

де $b_{ж}$ - значення ширина жолоба скребкового елеватора, м;

h_T — висота умовного тіла відносно порції зерна, що розміщена між скребками, м;

n_{δ} - емпіричний коефіцієнт, введений для врахування бокового тиску зерна, що транспортується на стінки корпусу елеватора;

f_T – довідковий коефіцієнт тертя (зерно по залізу.)

Цифрові значення параметрів $b_{ж}$ та h_T можливо визначити у відповідності робочого креслення. У випадку зернозбирального комбайна КЗС -9-1 «Славутич», отримуємо:

$$m_i = (0,202^2 \cdot 0,1^2) / ((2 \cdot 1) \cdot (0,15 + \text{Sin}(70^\circ \pm 15^\circ)) \cdot (0,202 + 1 \cdot 0,1)) = 0,807 \dots 1,14 \text{ кг}$$

Відповідно до отриманих раніше викладок, можливо трансформувати формулу для обчислення продуктивності транспортування зерна скребковим елеватором зернозбирального комбайна:

$$Q = v m_i = (\omega D_d / (2T)) (b_{ж}^2 h_T^2) / ((2 n_{\delta} (f_T + \text{Sin} \gamma) (b_{ж} + n_{\delta} h_T))). \quad (1.12)$$

За умови заповнення зернового бункера, механізатор запускає останню ланку зерно транспортної лінії зернозбирального комбайна – систему вивантаження зерна, що здійснюється за допомогою похило розташованих та горизонтально розташованих вивантажувальних шнеків (рис.1.1).

Відповідно, числові значення, характер транспортування та особливості проходження зернових потоків в молотильно-сепарувальній системі зернозбирального комбайна залежать від особливостей пропонуваніх в комбайні конструкційних рішень його робочих органів та від агротехнічних умов збирання врожаю.

1.3. Зернова транспортна група комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

Основними складовими елементами зерно-транспортної лінії зернозбирального комбайна, побудованого за класичною схемою МСП, в тому числі і зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», являються зерновий та колосовий шнеки, зерновий та колосовий скребкові елеватори, завантажувальний крутонахилений зерновий шнек бункера комбайна [11,16].

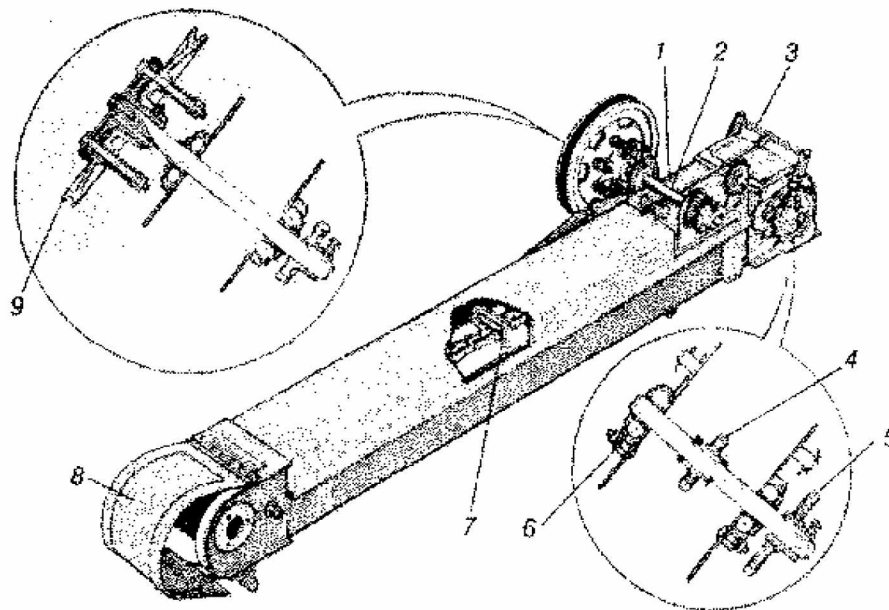


Рисунок 1.9 – Основні складові скребкового елеватора зернозбирального

комбайна: 1 - корпус; 2 - вал контрприводний; 3 – важіль для натягування ланцюга; 4, 5 – зірочки трансмісії; 6 – підшипниковий вузол; 7 - ланцюг; 8 - кришка; 9 – механізм фрикційний запобіжний.

Конструкційне виконання елементів зерно-транспортної групи зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» наступне: скребковий елеватор для транспортування зерна монтується праворуч відносно боків корпуса молотарки зернозбирального комбайна; нижня частина елеватора інтегрована з горизонтальним зерновим шнеком повітряно-решетної системи очищення; верхня частина скребкового зернового елеватора інтегрована з завантажувальним похилим шнеком бункера (рис. 1.9).

Передача потужності через крутні моменти та відповідні значення частот обертання здійснюється за допомогою пасових та ланцюгових передач в наступному порядку: з елемента контр приводу, що змонтований на верхній зовнішній частині кожуха елеватора, за допомогою спільного ланцюгового контуру відбувається привод конічного редуктора, що в свою чергу діє на похилий зерновий шнек та зірочку приводного валу скребкового зернового елеватора. Паралельно потужність передається і на приводну зірочку трансмісії зернового шнека.

В свою чергу потужність, що отримує контрпривод скребкового зернового елеватора, знімається за допомогою пасової передачі з головного контрприводу молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайна, що розташований відносно правої сторони молотарки.

Вал шків контрприводу зернового скребкового елеватора обладнано фрикційною запобіжною муфтою.

Щодо зернового, поз. 1 (рис. 1.10) та колосового, поз. 2 шнеків, то останні розташовані у загальному корпусі, поз. 3. Такий корпус в свою чергу виконаний зі спеціальними приєднувальними місцями-горловинами, де монтуються скребкові зерновий та колосовий елеватори відповідно.

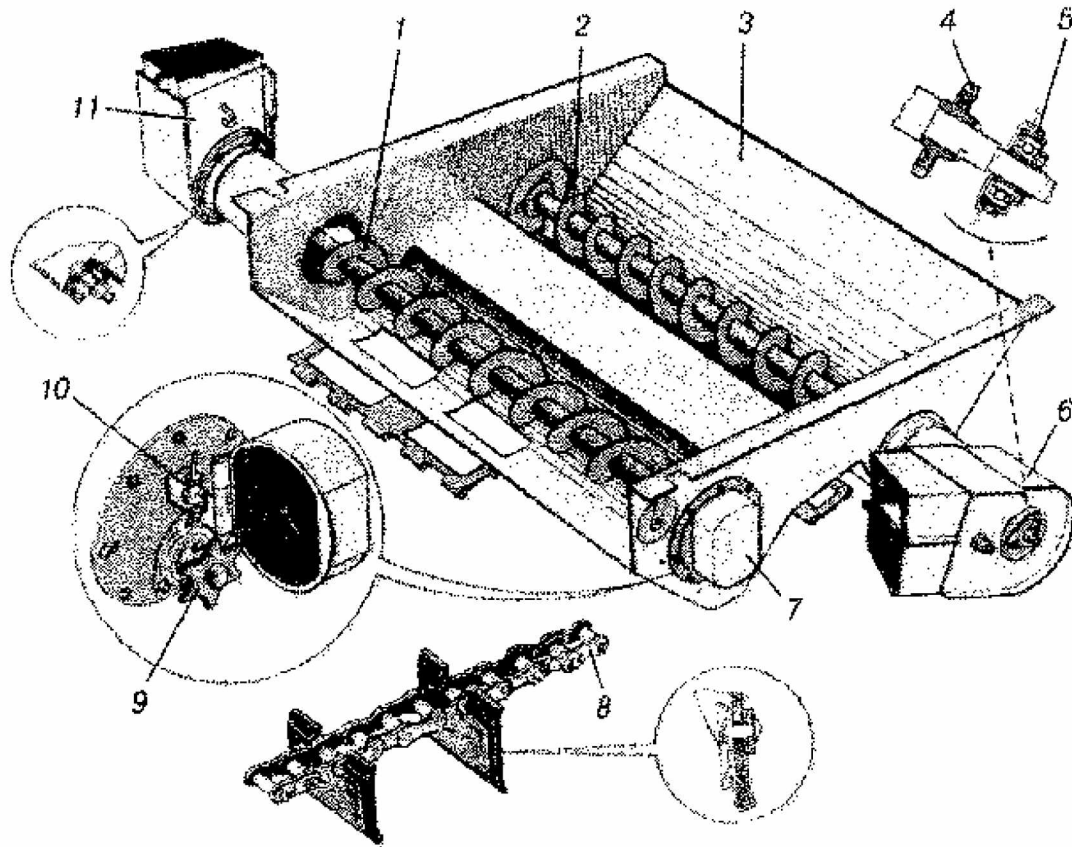


Рисунок 1.10 – Нижній блок зернового та колосового шнека повітряно-решетної очистки зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич»: 1 — шнек зерновий; 2 — шнек колосовий; 3 — корпус; 4,9 — зірочки трансмісії; 5 — підшипниковий вузол; 6 — скребковий елеватор колосовий; 7 — кожух; 8 — ланцюг; 10 — датчик; 11 — скребковий елеватор зерновий.

В даному аспекті при здійсненні технологічного процесу обмолоту та сепарації зерна при збиранні врожаю сільськогосподарських культур, очищене зерно, наприклад озимої пшениці зсипається у корпус-жолоб зернового шнека; таким шнеком зерно транспортується до нижньої частини зернового елеватора. Вхід у нижню частину зернового елеватора змонтований для подальшого захвату обмолоченого зерна скребками елеватора. В подальшому, створений скребковим елеватором зерновий потік, піднімається у гору, здійснює відцентрове розвантаження і через перевантажувальну камеру за допомогою завантажувального похилого шнека транспортується у бункер комбайна.

2. МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Основні методи теоретичних наукових досліджень

В цьому розділі більш детально будемо розглядати просторові положення скребоків зернового елеватора зернозбирального комбайна.

Враховуючи конструкцію кріплення скребка елеватора до несучого ланцюга, можливо зазначити наступне: при здійсненні обертального руху відносно осі верхнього приводного опорного валу зірочки елеватора, скребок може зайняти просторове положення під кутом до миттєвого радіусу обертання. Цифрове значення такого кута - змінна імовірнісна величина.

Для вирішення поставленої задачі частково застосуємо графічний метод. За допомогою програмного забезпечення AutoCAD, проектуємо елементи верхньої частини скребкового зернового елеватора, використовуючи масштабування дійсних розмірів складових такої конструкції (рис. 3.1).

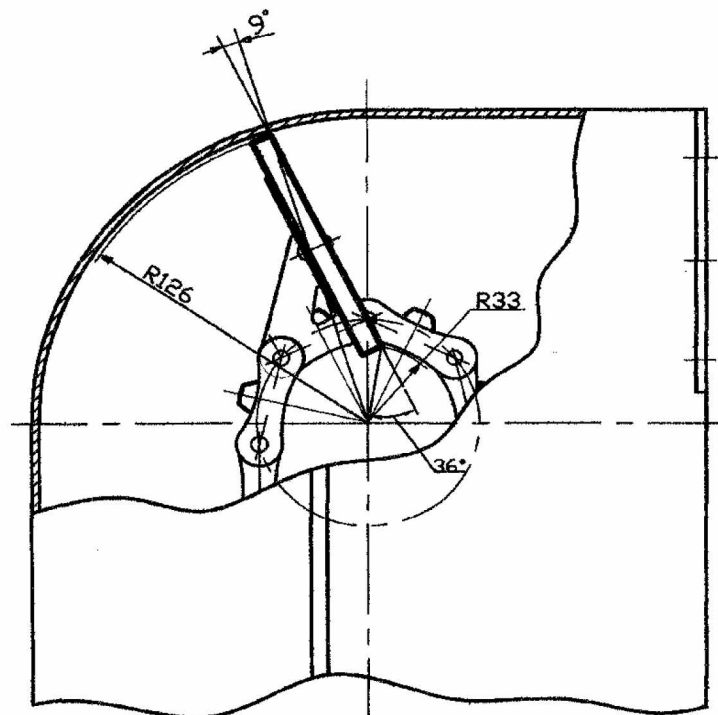


Рисунок 3.1 – Імовірнесне розташування скребка у верхній головці елеватора

При графоаналітичному аналізі рисунка 3.1 кути відхилення скребків ψ відносно миттєвих радіусів обертання навколо осі верхнього опорно-привідного вала зірочки – імовірна мінлива величина.

Цифрове значення такого кута може змінюватись, за нашими визначеннями від 9° до 36° .

Останнє може бути причиною мінливості кутової швидкості виокремленої порції зерна відносно постійної кутової швидкості руху приводного опорного валу верхньої зірочки елеватора.

Відомі математичні функціональні залежності і рівняння [39], що використовуються для визначення конструкційно-технологічних параметрів скребкових елеваторів в зоні розвантаження, не враховують нестабільність кута відхилення скребка від осі миттєвого радіусу обертання при проходженні останнім верхньої частини елеватора.

Відповідно, достовірність теоретичних розрахункових показників можливо підвищити, склавши диференційні рівняння руху виокремленої частини зернового потоку в зоні розвантаження скребкового елеватора з урахуванням змінних відхилень вертикальної вісі скребка від радіуса обертання.

Опишемо детально складові технологічних процесів проходження зернового потоку у верхній частині скребкового елеватора під час здійснення відцентрового розвантаження.

В такому випадку домінантною збурюючою силою, що визначає напрям та характер руху зернового потоку, є відцентрова сила.

Така сила спочатку примушує рухатись порцію зернового потоку пошарово у вздовж поверхні скребка до зовнішнього обертального траєкторіального кола (рис.3.2). Після чого відбувається відрив відповідного шару зернового потоку на верхній кромці скребка., напрям відриву і викидання зернового шару розташований перпендикулярно до площини поверхні скребка. (рис. 3.2, поз. 4).

Коригувальним, направляючим і обмежуючим елементом, щодо викидання порцій зерна під час відцентрового розвантаження, є верхня частина кожуха скребкового елеватора. (рис.3.2, поз.6).

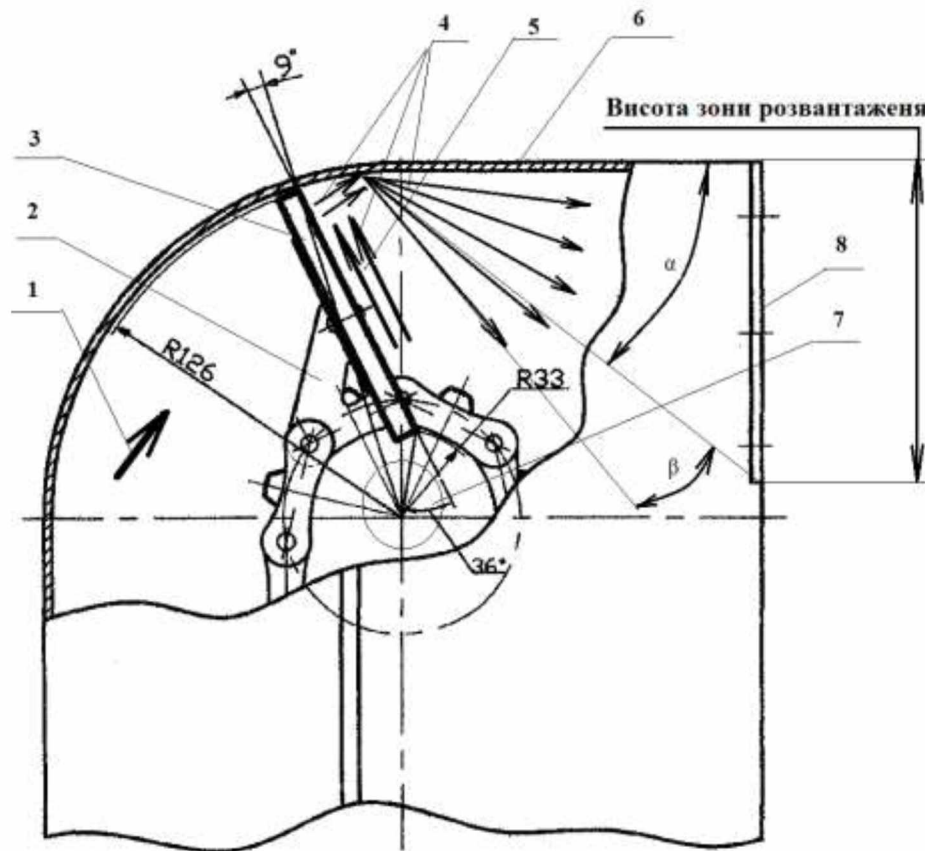


Рисунок 3.2 – масштабована графічно-розрахункова схема верхньої частини скребкового елеватора по кресленням комбайна КЗС-9-1 «Славутич»: 1- корегований напрям руху зерна в елеваторі; 2- основа- кріплення скребка до елеваторного ланцюга; 3- скребок; 4 – можливі напрямки сходження зерна зі скребка елеватора; 5 - напрям руху зернової порції під дією відцентрової сили; 6 – кожух, що утворює обмеження по траєкторії розвантаження зерна; 7 – вал та зірочка приводу несучого ланцюга елеватора; α – кут, зумовлений сектором розвантаження; β – кут, що описує умови виникнення зворотнього сипу зерна.

За умови, що момент відривання зернового шару від верхньої кромки скребка елеватора здійснюється в інтервалі проходження скребком зони сектора з вільним розвантаженням, то останнє здійснюється (рис.3.2). В

іншому випадку відбувається явище зворотного осипання зерна в скребковому елеваторі.

Явище зворотнього осипання частини зерна, що не пройшло відцентрове розвантаження, призводить до збільшення пошкодження зерна подрібненням та компресійним руйнуванням; потребує додаткових витрат палива на здійснення транспортних процесів в елеваторах комбайна, прискорює фізичне зношування елементів і складових зернового скребкового елеватора.

2.2. Методика експериментального дослідження

Метою проведення експериментальних досліджень та випробувань вузлів та складових сільськогосподарської техніки є визначення об'єкту дослідження в дійсних умовах його роботи. В такому випадку маємо змогу відслідковувати дію всіх виробничих факторів на відміну від теоретичних припущень, де частину факторів знівельовано.

До проведення визначено два експериментальні дослідження. Перша частина експериментального дослідження запланована для віднайдення закономірностей та основних вагомих факторів, що впливають на проходження процесів зворотнього осипання в холостій частині скребкового елеватора.

Другу частину експериментального дослідження присвячено пошуку функціональної залежності між обсягами зерна, що попало в холосту частину скребкового зернового елеватора комбайна зворотнім осипанням та ступенем натягу ланцюга зі скребками.

Експериментальні дослідження та випробування проводились на зернозбиральному комбайні КЗС-9-1 «Славутич».

Перед початком експериментально-польових досліджень нами було адаптовано контрольно-діагностичне вікно холостої частини скребкового

зернового елеватора під встановлення контрольної накопичувальної ємності (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Адаптоване контрольно-діагностичне вікно холостої частини скребкового зернового елеватора під встановлення контрольної накопичувальної ємності.

Після встановлення такої ємності, необхідно вимірювати час між відкриттям та закриттям шиберної задвижки у контрольно-діагностичному вікні холостої частини скребкового елеватора.

Початок вимірювання зворотнього сипу необхідно здійснювати після закінчення перехідних процесів при обмолоті зерна зернозбиральним комбайном.

Кількість повторів на одній культурі – десять.

Такі попередні експериментальні перевірки розробленого нами пристосування показали, що середній час наповнення об'єму контрольно-вимірювальної ємності складає близько двох хвилин.

Нами виявлено, що зміна сили натягу ланцюга зі скребками впливає на зміну кількості зерна, що потрапило у холосту частину скребкового зернового елеватора зворотним осипанням.

Додатково встановлено, що зміна розвантажувального сектора в сторону зменшення чи збільшення також впливає на якість транспортування

зернового потоку скребковим зерновим елеватором зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич».

При проведенні експериментального дослідження визначаються і описуються вибірки факторів, що впливають на хід технологічних та інших процесів об'єкту дослідження.

В нашому випадку до таких груп залежних та незалежних, змінних та вимірюваних факторів можливо віднести:

- ✓ Види та сорти зернових сільськогосподарських культур, що підлягають обмолоту зернозбиральними комбайнами при проведенні експериментального дослідження.
- ✓ Робочі швидкості руху зернозбиральних комбайнів при обмолоті зернових культур на різноманітних штучно створених технологічних режимах.
- ✓ Показники дискретної та середньої урожайності зернових сільськогосподарських культур.
- ✓ Відношення маси зерна чи насіння зернової культури до листостеблової маси (солонистість).
- ✓ Розподіл нерівномірності дозрівання зерна та розподіл нерівномірності врожаю по площі поля.
- ✓ Показники відносної вологості зерна.
- ✓ Значення рельєфу поля.
- ✓ Цифрові значення швидкості руху приводного валу ланцюга зв скребками елеватора.
- ✓ Зміна величини натягування ланцюга зі скребками зернового елеватора.
- ✓ Цифрове значення кута сектора відцентрового розвантаження зерна.

Описані вище вибірки складових факторного експерименту можливо умовно розподілити на такі, що піддаються штучному змінюванні у

визначеному діапазоні під час проведення експериментального дослідження, і ті, що тільки можливо виміряти або описати навіть якісними характеристиками.

Графічно, описані вище методологічні аспекти експериментального дослідження, можливо подати у вигляді «чорного ящика» (рис. 2.2), (схема запропонована Н. Вітером [15]).

Основні експериментальні дослідження та вимірювання будемо виконувати з використанням зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», дообладнаного вимірювальним обладнанням. Сільськогосподарська культура, що підлягає обмолоту – озима пшениця.

Робочу швидкість руху зернозбирального комбайна під час обмолоту пшениці озимої, чи іншої сільськогосподарської культури, при проведенні експериментальних досліджень та вимірювань залишаємо незмінною і такою, що відповідає агротехнічним вимогам та технологічній наладці молотарки зернозбирального комбайна: 4,5...5км/год. При цьому можливо отримати розрахункове завантаження зернового скребкового елеватора в межах 5кг/с по транспортуванню зерна озимої пшениці.

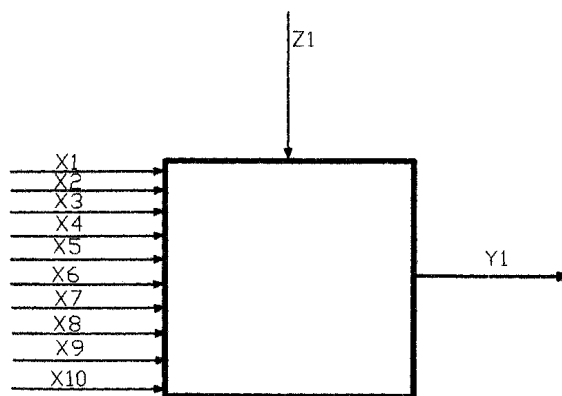


Рисунок. 2.2 - Схема експериментального «чорного ящика»

З перерахованих обираємо основні змінні та вимірювальні експериментальні фактори:

X1 – Види та сорти зернових сільськогосподарських культур, що підлягають обмолоту зернозбиральними комбайнами при проведенні експериментального дослідження.

X2 – Робочі швидкості руху зернозбиральних комбайнів при обмолоті зернових культур на різноманітних штучно створених технологічних режимах.

X3 – Цифрові значення швидкості руху приводного валу ланцюга зв скребками елеватора.

X4 – зміна середньої урожайності сільськогосподарської культури.

X5 – зміна ступеню натягування ланцюга зі скребками зернового елеватора.

X6 – цифрове значення кута сектора відцентрового розвантаження зерна.

Вихідним функціональним фактором експериментального дослідження приймаємо: Y1 – цифрові значення зерна озимої пшениці чи іншої зернової сільськогосподарської культури, що створює потік зворотнього осипання в зону холостої частини кожуха скребкового елеватора молотарки комбайна КЗС-9-1 «Славутич».

Залікові ділянки пшеничного поля обираємо з рівним хлібостоем, по можливості з рівномірною урожайністю та мінімальним ступенем забур'яненості. Середнє значення урожайності склало 4,5 т/га.

Обертові швидкості приводного валу верхньої частини зернового елеватора змінюються дискретно шляхом переустановлення ланцюгових зірочок з різною кількістю зубів.

Вологість зерна озимої пшениці, що збирається зернозбиральним комбайном, склала 12... 14%.

Описова експериментальна статистично-математична модель проведення нашого експериментального дослідження набуде вигляду [32]:

$$y = f(X1, X2, X3, X4, X5, X6). \quad (2.1)$$

Кількість повторень при кожному крокові вимірювання величини сектору відцентрового розвантаження дорівнювала десяти для отримання високого ступеня достовірності отриманих результатів.

Наступна частина експериментального дослідження проводилась для віднайдення ступеня впливу сили натягування ланцюга зі скребками на

кількісні характеристики зворотнього осипання зерна озимої пшениці. При цьому градусні міра величини сектора відцентрового розвантаження встановлена згідно первинного варіанту конструкції верхньої головки кожуха зернового елеватора.

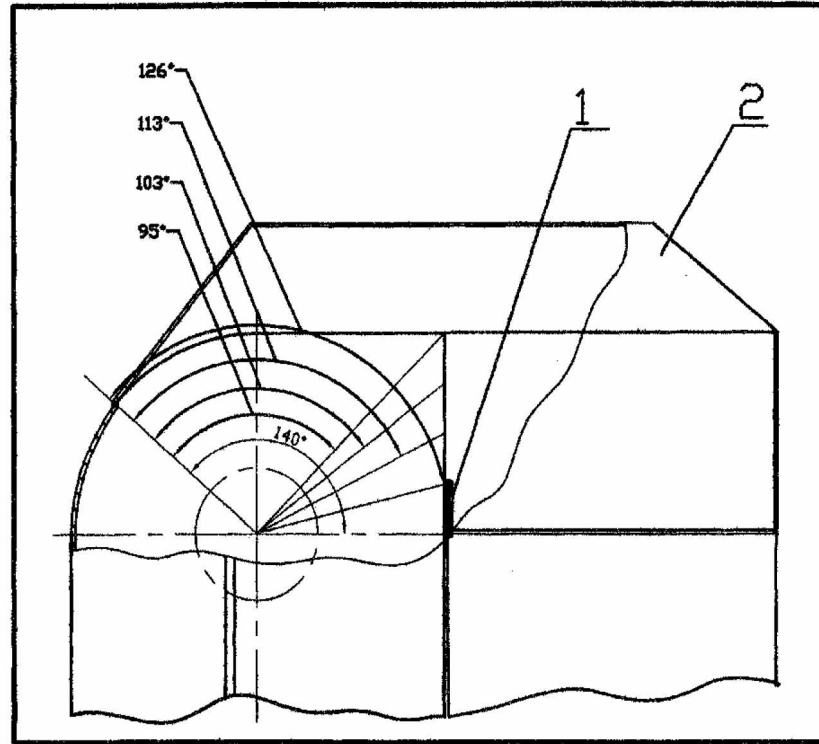


Рисунок 2.3 – Компанувальна схема, щодо дообладнання верхньої головки скребкового зернового елеватора пласким шибером зміни кутового значення сектору відцентрового розвантаження: 1 – шиберна заслінка; 2 – кожух перевантажувального простору між скребковим елеватором та завантажувальним шнеком бункера.

Робоча швидкість руху зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» контролюється та підтримується в заданому режимі за допомогою бортового комп'ютера БК-02.

Для отримання можливості змінювання і вимірювання градусної міри величини сектора розвантаження перевантажувальна зона між скребковим елеватором та завантажувальним шнеком бункера дообладнується

спеціальною шиберною регулювальною заслінкою, що може зменшувати або збільшувати сектор розвантаження. (рис. 2.3).

Під час виконання експериментального дослідження вимірюємо та покроково змінюємо числові значення кута розвантажувального сектора. Результати вимірювань занесені у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Виміряні значення кутової міри розвантажувального сектора, що отримані з використання шиберної пластини.

Кутова міра розвантажувального сектора φ , градуси	Висота шиберної пластини b , мм
140°	0
126°	30
113°	60
103°	90
95°	120

Під час виконання наступної частини експериментального дослідження кутове значення розвантажувального сектора незмінне. (табл.2.2)

Таблиця 2.2 - Величина кута коливання скребка виражена в розмірах на лінійці

Кут коливання скребка α , градуси	Величина розміру на лінійці h , мм
$\pm 5^\circ$	15
$\pm 25^\circ$	72
$\pm 45^\circ$	120
$+ 90^\circ$	170

Щодо вимірювання значень кутових відхилень вертикальної осі скребка відносно миттєвого радіусу обертання, то такі вимірювання здійснюються загальновідомими кутомірами (рис 2.4).

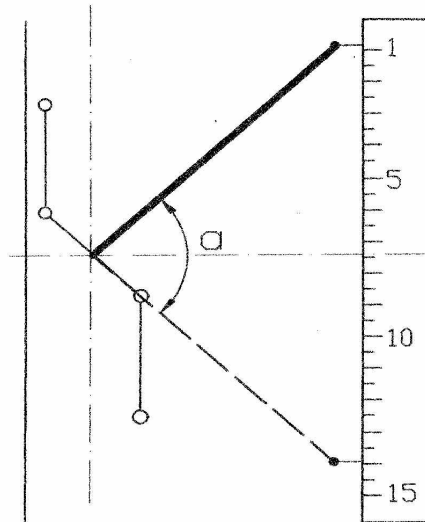


Рисунок 2.4 – Компонувальна схема щодо методики вимірювань кутів відхилення вертикальної осі скребка зернового елеватора

Часові інтервали можливо визначити з використанням секундоміра. Контрольно-вимірювальні ділянки поля з шириною, пропорційною робочій ширині захвату жниварки зернозбирального комбайна, відмічаємо контрольними прапорцями.

Схема розмітки контрольно-залікових ділянок пшеничного поля подана на рис. 2.5.

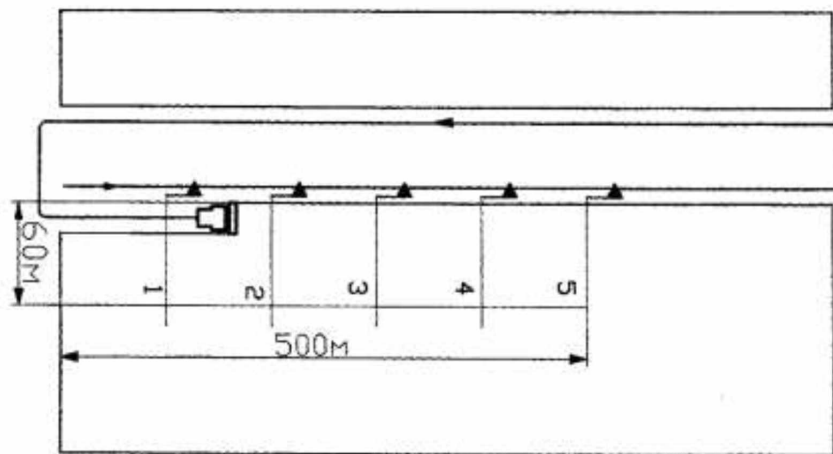


Рисунок 2.5 – Схема розмітки контрольно-залікових ділянок пшеничного поля для польових досліджень роботи скребкового зернового комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Розмір ділянки 500×60м.



Рисунок 2.6 – контроль маси зворотнього сипу зерна з використанням накопичувальної ємкості.

Перед початком польових дослідів необхідно встановити, виміряти та зафіксувати градусну міру розвантажувального сектору з використанням шиберної заслінки та встановити на холостій частині кожуха скребкового елеватора зернозбирального комбайна контрольну ємність - уловлювач зворотнього осипання зерна озимої пшениці (рис 2.6).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Моделювання руху скребків в верхній частині зернового елеватора молотарки комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

Виокремимо частину зернового потоку або зернину в зерновому потоці. Нехай така зернина розташована поряд з основою скребка. Висоту скребка при цьому позначимо b (рис.3.3, рис.3.4).

Моменти розпочинання переміщення частки зернового потоку відносно робочої площини скребка розглядаються за умови початку обертального руху скребка навколо осі валу приводної зірочки. Вважаємо, що верхня частина зернового скребкового елеватора, де здійснюється такий обертальний рух. Утворює сектор розвантаження зерна.

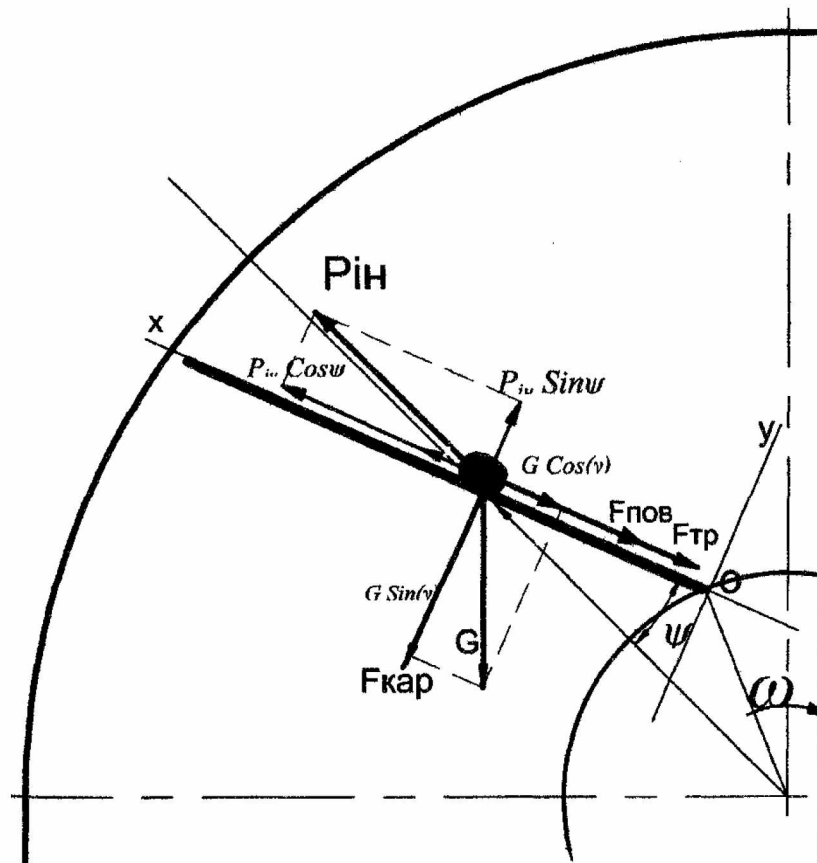


Рисунок 3.3 – Компанувально-розрахункова схема, де прикладені основні сили відносно виокремленої частини зернового потоку в розвантажувальній частині зернового скребкового елеватора – фаза до проходження скребком вертикальної вісі симетрії елеватора.

Основними фізичними силами, що діють на виокремлену частину зернового потоку в нашому випадку являються (рис.3.3; рис. 3.4) [39]:

- $G = mg$ – сила ваги зернової частки;
- N – сила від нормальних реакцій поверхонь;
- $F = kN$ – сила, що утворює тертя виокремленої зернової частки відносно робочої поверхні скребків;

- $P_{ин} = mrw^2$ – величина, що обраховується як відцентрова інерційна сила;

- $F_{пов} = kmv$ – величина сили, що здійснює опір повітря. Така сила має місце під час руху виокремленої частини зернового потоку відносно робочої поверхні скребка. Сила опору повітря направлена протилежно відносно руху зерна;

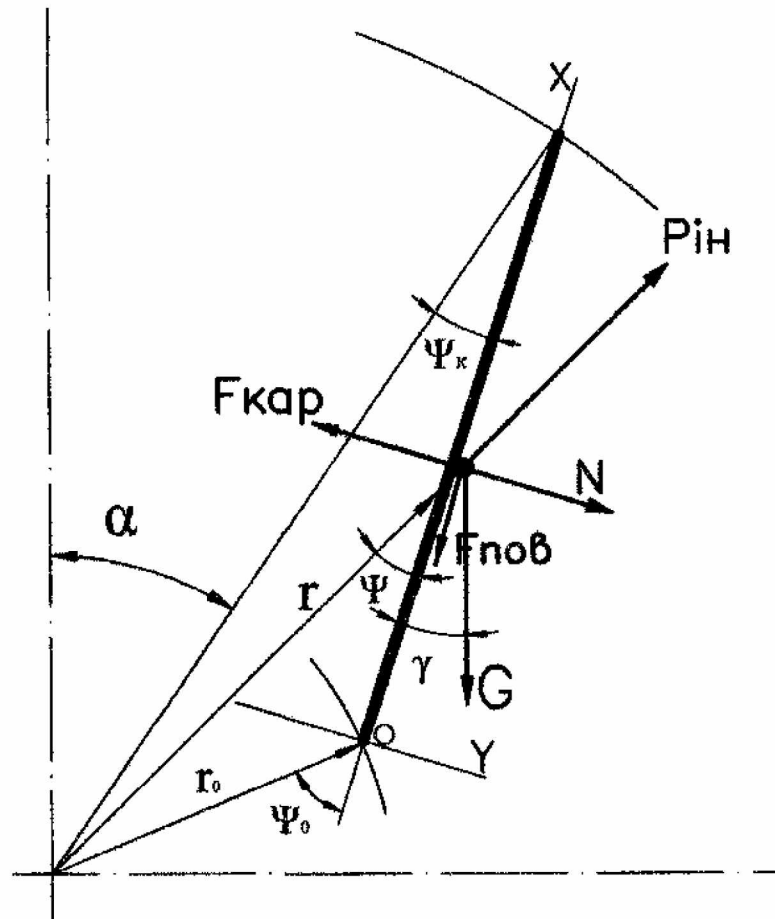


Рисунок 3.4 – Компанувально-розрахункова схема, де прикладені основні сили відносно виокремленої частини зернового потоку в розвантажувальній частині зернового скребкового елеватора – фаза після проходження скребком вертикальної вісі симетрії елеватора.

$F_{\text{Кар}} = 2mvw$ – розрахункове значення Каріолісової сили. Напрямок дії сили Каріоліса є перпендикулярним вектору відносної швидкості виокремленої частки зернового потоку. Сила Каріоліса діє в протилежному до обертання скребка напрямку.

Позначимо координатну вісь OX , що спрямована у здовж робочої поверхні скребка. Позначимо координатну вісь OY – по нормалі до робочої поверхні скребка.

Щодо напрямку руху виокремленої частки зернового потоку, то додатне його значення відбувається вгору відносно робочої поверхні скребка під дією переважаючої відцентрової сили $P_{\text{ін}}$.

Маємо рух виокремленої зернової частки тільки по робочій поверхні скребка.

Такий рух опише диференціальне рівняння: [39]:

$$m(\overline{d^2x/dt^2}) = \overline{P_{ін}} + \overline{G} + \overline{F_{кар}} + \overline{F_{тр}} + \overline{F'_{тр}} + \overline{F_{пов}}. \quad (3.1)$$

Підставимо в (3.1.) значення сил, що діють на виокремлену частку зернового потоку, тоді:

$$m(d^2x/dt^2 = mr\omega^2 \text{Cos}\psi - kmv - f(2mv\omega - mg \text{Sin}(\gamma - mr\omega^2 \text{Sin}\psi) - mg \text{Cos} \gamma). \quad (3.2)$$

де $mr\omega^2 \text{Cos}\psi$ – розрахунковий вираз для визначення проекції сили інерції на вісь ОХ;

kmv – розрахункова формула для визначення сили опору повітря;

k – емпіричний коефіцієнт визначення опору повітря [2,3];

$2mv\omega$ вираз для визначення проекції сили Каріоліса відносно осі ОУ;

$\text{Sin} \gamma$ – функція розрахункового значення проекції сили ваги зерна відносно осі ОУ;

$mr\omega^2 \text{Sin}\psi$ – розрахунковий вираз для визначення проекції сили інерції на вісь ОУ;

$mg \text{Cos} \gamma$ – вираз для розрахунку проекції сили ваги на вісь ОХ;

$f = \text{Tg}\phi$ – вираз для визначення коефіцієнту тертя між зерном озимої пшениці та робочою поверхнею скребка елеватора (визначається експериментально або приймається за таблицями); ϕ – кут тертя.

Для зручності обчислень позначимо $dx/dt = x'$, $d^2x/dt^2 = x''$.

Здійснимо скорочення на m у рівнянні (3.2), отримаємо:

$$x'' = r\omega^2 \text{Cos}\psi - kx' - g \text{Cos}\gamma - f(2x'\omega - g \text{Sin}\gamma - r\omega^2 \text{Sin}\psi) \quad (3.3)$$

Використовуючи рис. (2.3), маємо, що

$$r \text{Cos}\psi = x + r_0 \text{Cos}\psi_0 \quad (3.4)$$

де x – значення шляху, що проходить виокремлена порція зернового потоку по робочій поверхні скребка;

ψ_0 – первинне значення кута ψ , який є градусною мірою між миттєвим радіусом обертання та вертикальною віссю симетрії скребка;

r_0 – відстань від центру обертального руху досліджуваних елементів скребкового елеватора до початку робочої поверхні скребка;

r – відстань від вісі обертання до виокремленої порції зернового потоку

Крім того, маємо

$$r \sin\psi = r_0 \sin\psi = \text{const} \quad (3.5)$$

З врахуванням формул (3.4) і (3.5), запишемо

$$x'' = r\omega^2 + r_0 \cos\psi_0 - kx' - g \cos\gamma - 2fx'\omega + fr_0 \sin\psi_0 \omega^2 + gf \sin\gamma$$

або

$$x'' + x'(k + 2f\omega) - x\omega^2 = r_0 \omega^2 (\cos\psi_0 + f \sin\psi_0) - g(\cos\gamma - f \sin\gamma) \quad (3.6)$$

Розв'язок диференційного рівняння буде представлений у вигляді суми однорідної та неоднорідної частини:

$$x(t) = x_{\text{одн}}(t) + x_{\text{неодн}}(t) \quad (3.7)$$

де $X_{\text{одн}}$ – загальний розв'язок однорідної частини;

$X_{\text{неодн}}$ – частковий розв'язок неоднорідної частини (3.6).

Для однорідної частини рівняння (3.5) складаємо характеристичне рівняння:

$$x'' + (k + 2f\omega)x' - x\omega^2 = 0 \text{ – однорідна частина,}$$

$$K + (k + 2f\omega)K - \omega = 0 \text{ – характеристичне рівняння,} \quad (3.8)$$

Останнє розв'язуємо, як квадратне рівняння

$D=(k+2f\omega)^2+4\omega^2$, що завжди > 0 , тобто маємо обидва корені в області дійсних чисел:

$$K_{1,2} = -(k + 2f\omega)/2 \pm (\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2})/2 \quad (3.9)$$

Загальний вид розв'язку, зумовлений однорідною частиною буде:

$$x_{\text{одн}}(t) = C_1 e^{K_1 t} + C_2 e^{K_2 t}$$

де C_1, C_2 – довільні сталі.

Зробимо перетворення правої частини рівняння (3.6), з використанням законів рівностей тотожності:

$$\cos\gamma + \sin\gamma = \frac{1}{\sqrt{f^2+1}} \left(\frac{1}{\sqrt{f^2+1}} \cos\gamma + \frac{-f}{\sqrt{f^2+1}} \sin\gamma \right) \quad (3.10)$$

Введемо позначення

$$\sin\beta = \frac{-f}{\sqrt{f^2 + 1}}; \quad \cos\beta = \frac{-f}{\sqrt{f^2 + 1}}$$

тоді

$$\cos\gamma + f\sin\gamma = \frac{1}{\sqrt{f^2 + 1}}\cos(\beta - \gamma) \quad (3.11)$$

З метою спрощення розрахунків, введемо позначення:

$$A = r_0 \omega^2 (\cos\psi_0 + f\sin\psi_0) \quad (3.12)$$

$$B = \frac{-g}{\sqrt{f^2 + 1}} \quad (3.13)$$

Права частина рівняння запишеться у вигляді:

$$A + B\cos(\beta - \gamma) \quad (3.14)$$

Проводимо спрощення, приймаючи (рис 3.4) $\gamma = (\omega t - \psi_\kappa)$,

$$\cos(\beta - \gamma) = \cos(\omega t - \psi_\kappa) = \cos(\omega t - \psi_\kappa - \beta) \quad (3.15)$$

Розкладаємо (3.15) в ряд: $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$ $x \in \mathbb{R}$:

$$\cos(\omega t - (\psi_\kappa + \beta)) = 1 - \frac{(\omega t)^2 - 2\omega t(\psi_\kappa + \beta) + (\psi_\kappa + \beta)^2}{2} \quad (3.16)$$

На прикінцевому етапі, здійснивши математичні перетворення, отримаємо наступний вигляд правої частини:

$$A + B - \frac{B\omega^2}{2}t^2 + B\omega t(\psi_\kappa + \beta) - \frac{B(\psi_\kappa + \beta)^2}{2} \quad (3.17)$$

З метою спрощення перетворень позначимо:

$$A + B + \frac{B(\psi_\kappa + \beta)^2}{2} = C \quad (3.18)$$

$$-\frac{B\omega^2}{2}t^2 + B\omega t(\psi_\kappa + \beta)t - C \quad (3.19)$$

Вигляд часткового розв'язку неоднорідного рівняння:

$$X_{\text{неод}}(t) = Mt^2 + Nt + P \quad (3.20)$$

Запишемо першу і другу похідну від рівняння (3.20):

$$X'_{\text{неод}}(t) = 2Mt + N \quad (3.21)$$

$$X''_{\text{неод}}(t) = 2M \quad (3.21)$$

Підставимо вирази похідних у рівняння (3.6):

$$-Mt^2\omega^2 + t(2M(k + 2\omega t) - N\omega^2) - P\omega^2 + 2M + N(k + 2f\omega) = -\frac{B\omega^2}{2}t^2 + B\omega(\psi_k + \beta)t - C \quad (3.22)$$

З рівняння (3.22) знаходимо сталі M , N , P :

$$M = \frac{B}{2} \quad (3.23)$$

$$N = \frac{2M(k+f\omega) - B\omega(\psi_k + \beta)}{\omega^2} \quad (3.14)$$

$$P = \frac{2M - C - N(2k+f\omega)}{\omega^2} \quad (3.25)$$

подамо загальний розв'язок диференційного рівняння (3.3) як вираз:

$$X_{\text{заг}} = C_1 e^{K_1 t} + C_2 e^{K_2 t} + Mt^2 + Nt + P \quad (3.26)$$

З метою обчислення показників C_1 та C_2 необхідно використати початкові умови:

$$\text{при } t=0, X=0;$$

$$\text{при } t=0, X'=0.$$

Відповідно знаходимо C_1 та C_2 :

$$C_1 = -P - C_2 \quad (3.27)$$

$$C_2 = \frac{(K_1 - N)}{(K_2 - K_1)}$$

Коефіцієнти тертя для основних зернових культур по робочим поверхням гумових скребків знаходяться у діапазоні $f=0.3...0.5$ [16].

Коефіцієнт опору повітря виокремленої частки зернового потоку має значення $k=0.7...0.15$ [16]. За нашими умовами можливо розрахувати цифрові значення коренів характеристичного рівняння K_1 та K_2 :

$$K_1 = 27,5... 22,826; \quad K_2 = -49,77... -59,58$$

Наступним етапом визначимо цифрові значення сталих A , B та C :

$$A = 45864,22...51336,03; \quad B = -10,2315...-10,957; \quad C = 45853,89...51324,55.$$

Відповідно, розраховуємо та визначаємо значення M , N та P :

$$M = -5,1156...-5,478; N = -0,204...-0,3886; P = -33,499...-37,488.$$

Обчислюємо діапазони числових значень коефіцієнтів C_1 та C_2

$$C_1 = 21,579...27,1584, C_2 = 11,9199...10,3296.$$

І, в підсумку, при визначених початкових умовах транспортування зерна скребковим зерновим елеватором комбайна КЗС-9-1 «Славутич» загальне рішення нашого диференційного рівняння буде:

$$X_{\text{заг}} = (21,579...27,1584)e^{(27,5-22,826)t} + (11,9199...10,3296)e^{(-49,77...-59,98)t} + (-5,1156...-5,478)t^2 + (-0,204...-0,3886)t + (-33,499...-37,488) \quad (3.28)$$

Обчислення даного рівняння проведено за допомогою комп'ютерної програми. На рис. 3.5 результати обчислення подані у вигляді графіків руху виокремленої частки руху зерна по скребку елеватора в діапазоні кутової швидкості обертання валу приводної зірочки ланцюга зі скребками від 10 рад/с до 58 рад/с. За результатами розрахунків умова розвантаження зерна в повному обсязі буде виконана зі збільшеною кутовою мірою розвантажувального сектору з 90° до 145° . Швидкість обертання верхнього валу елеватора: 300...360 об/хв.

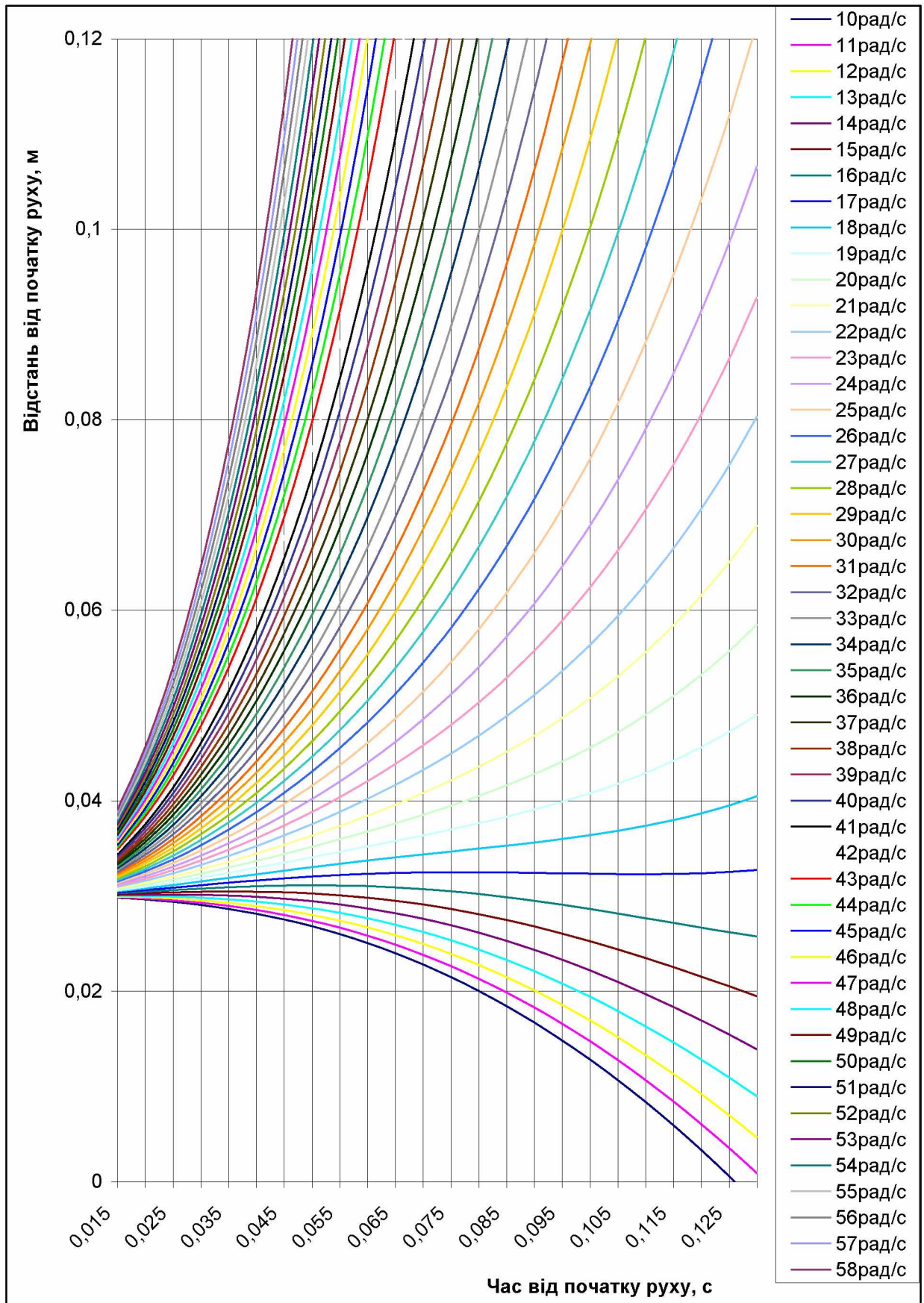


Рисунок 3.5 – Графічні залежності координати руху частки зернового потоку по робочій поверхні скребка від часу за умовою змін кутової швидкості верхнього валу елеватора ($f=0,5$; $k=0,15$.)

Наступним етапом теоретичного дослідження змодельюємо орієнтовне співвідношення між зміною градусної міри розвантажувального сектору та відсотком зернового потоку, що потрапляє к холосту частину кожуха елеватора зворотним осипанням.

Нами здійснено гіпотетичні припущення:

- Шар зерна відносно робочої поверхні скребка елеватора розподілений рівномірно;
- Обсяг порції зерна, що рухається відносно робочої поверхні скребка, визначимо як 100% необхідного відцентрового розвантаження.

З урахуванням раніш отриманих математичних моделей, будемо графічне відтворення розвантажувального процесу у верхній частині елеватора за умов градусних мір розвантажувального сектору 91° , 94° , 104° , 115° , 125° (рис.3.5)

При встановленні значення кута розвантажувального сектору у межах 90° , частина міжскребкової порції зернового потоку, яка розташована ближче, ніж 14 мм відносно крайніх положень шару зерна (на рисунку $X=0$), створює зворотне осипання. Якщо конструктивно прийнята висота скребка дорівнює 10см, то маємо близько 15% зворотного сипу.

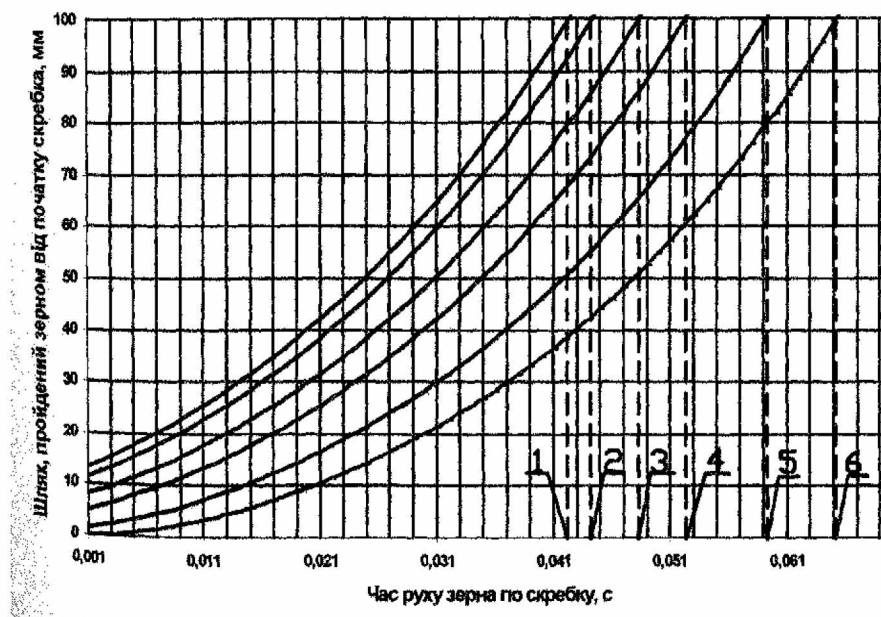


Рисунок 3.6 – сукупність діаграм щодо моделювання співвідношення між кутами розвантажувального сектору та відсотками зворотнього осипання

частини зернового потоку в холосту гілку зернового елеватора: 1 – час за який можливе повне розвантаження при секторі 91° ; 2 - при секторі 94° ; 3 - при секторі при секторі 103° ; 4 - при секторі 113° ; 5 - при секторі при секторі 126° ; 6 – при секторі 140° .

Обрані складові зони відцентрового розвантаження, що характеризуються градусною мірою кута розвантажувального сектору, подано на рис. 3.7.

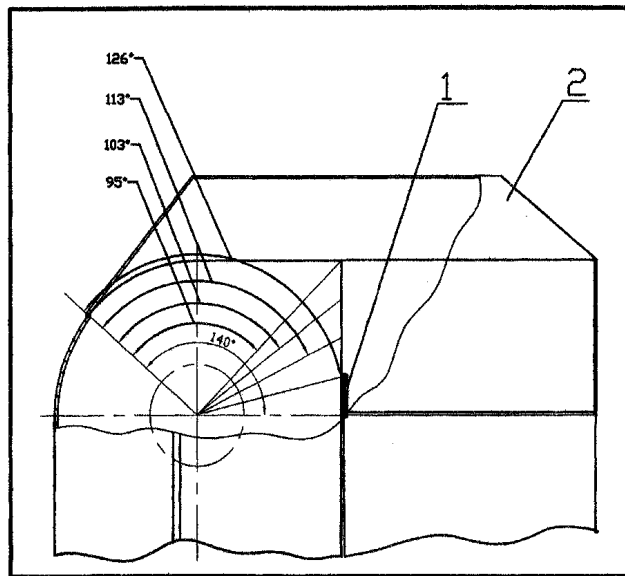


Рисунок 3.7 – Обрані складові зони відцентрового розвантаження, що характеризуються градусною мірою кута розвантажувального сектору: 1 – регулювальний шибер; 2 - зона між скребковим елеватором та завантажувальним шнеком зернового бункера комбайна.

Підсумком аналізу розвантажувальних діаграм з рис. 3.6. є графічна залежність відсоткового співвідношення зворотнього осипання від градусної міри кута розвантажувального сектору (рис 3.8)

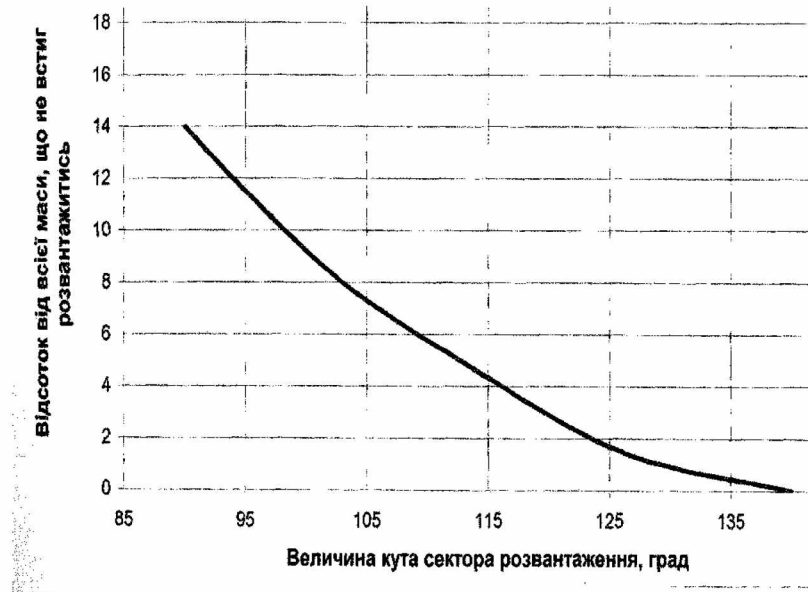


Рисунок 3. 8 графічна залежність відсоткового співвідношення зворотнього осипання від градусної міри кута розвантажувального сектору

Співвідношення між кутами відхилення вертикальної вісі симетрії скребка елеватора та миттєвими радіусами обертання скребка навколо вісі приводного верхнього валу зернового скребкового елеватора, за результатами розрахунків по (3.28), подано на рис.3.9.

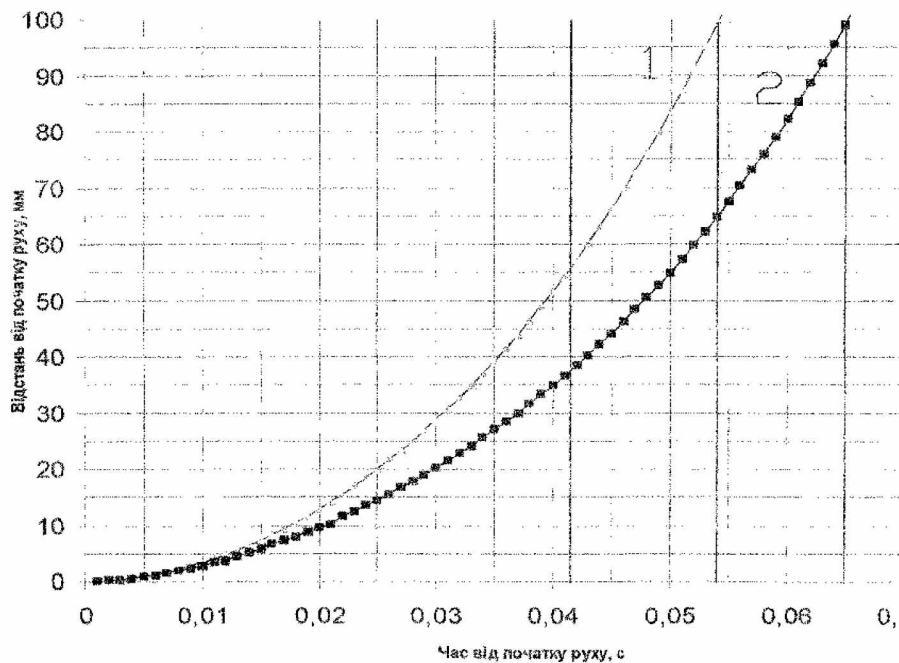


Рисунок 3.9 – Графічне співвідношення між кутами відхилення вертикальної вісі симетрії скребка елеватора та миттєвими радіусами обертання скребка навколо вісі приводного верхнього валу зернового скребкового елеватора: 1

– кут відхилення скребка до радіусу прийнятий $\psi_0 = 0$; 2 – відповідно кут, прийнятий $\psi_0 = 36^\circ$.

Таким чином, за результатами наших теоретичних досліджень, можливо зазначити, що збільшення кута відхилення робочої поверхні скребка елеватора відносно радіусу обертання, зв'язаного з обертальним центром досліджуваної системи (рис. 3.9), призводить до збільшення відсотка зворотнього осипання транспортованого зерна у скребковому елеваторі зернозбирального комбайна.

3.2 Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження та польові випробування різноманітних режимів роботи скребкового зернового елеватора зернозбирального комбайна, особливо щодо підтвердження чи спростування теоретичних викладок дипломної роботи по причинам утворення зворотнього зсипання частини зернового потоку проведені за допомогою дообладнаного зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич».

Таблиця 3.1 – результати вимірювань кількості зворотнього осипання зерна ячменю в залежності від зміни градусної міри кута сектору розвантаження

№ Дослід	Кут коливання скребка, град			
	5	25	45	90
	Маса зерна, що потрапило в накопичувальну ємність, гр.			
1	420	389	308	220
2	448	368	284	252
3	432	391	297	245
4	452	409	325	215
5	415	374	331	209
6	408	390	290	238
7	443	413	316	224
8	434	420	302	207
9	425	370	282	240
10	451	375	326	234
Середнє	432,8	389,9	306,1	228,4

Таблиця 3.2 – результати вимірювань кількості зворотнього осипання зерна ячменю в залежності від зміни градусної міри кута сектору розвантаження

№ Дослід	Кут коливання скребка, град			
	5	25	45	90
	Маса зерна, що потрапило в накопичувальну ємність, гр.			
1	332	311	176	161
2	348	289	214	128
3	328	300	191	159
4	343	281	198	136
5	350	275	186	154
6	335	306	202	131
7	346	297	196	160
8	357	291	180	180
9	330	318	207	173
10	319	276	198	164
Середнє	338.8	294.4	194.8	154.6

Основними сільськогосподарськими культурами, що обмолочувались зернозбиральним комбайном, стали пшениця озима та ячмінь ярий.

Основні результати експериментального дослідження та випробування щодо режимів роботи скребкового елеватора молотарки комбайна наведено у таблицях 3.1 та 3.2.

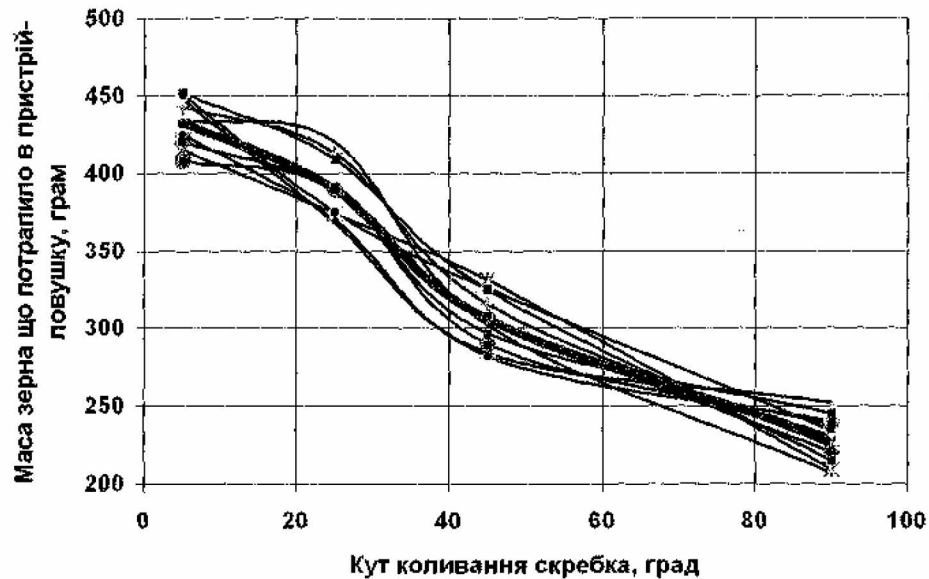


Рисунок 3.10 – Графічні залежності у вигляді апроксимованих кривих, що описують функціональні зв'язки між ступінню натягування ланцюга зі скребками та масою зворотнього осипання частини зернового потоку в холосту сторону кожуха скребкового елеватора. (обмолот озимої пшениці).

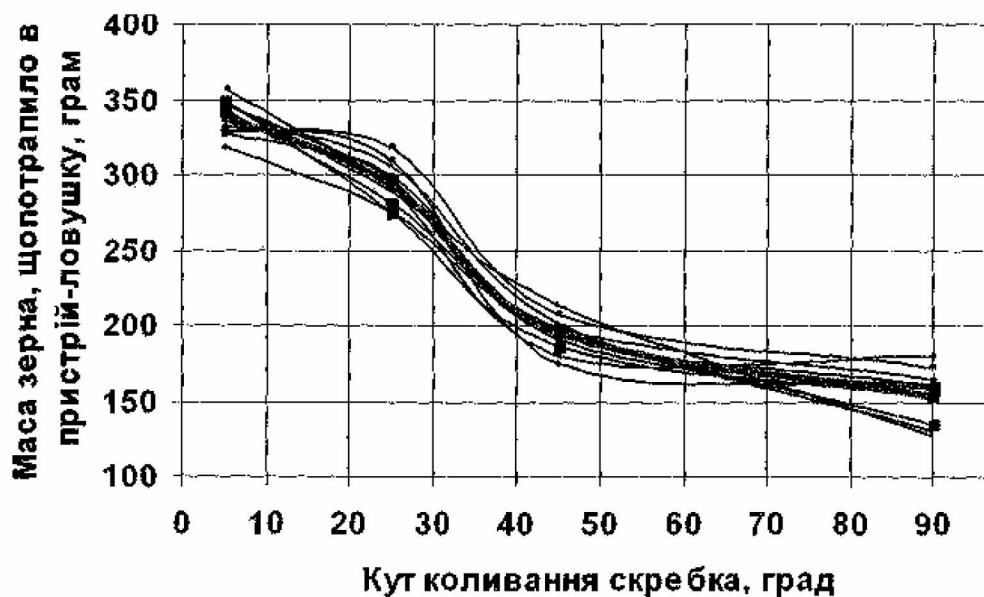


Рисунок 3.11 – графічні залежності у вигляді апроксимованих кривих, що описують функціональні зв'язки між ступінню натягування ланцюга зі скребками та масою зворотнього осипання частини зернового потоку в холосту сторону кожуха скребкового елеватора (обмолот ячменю).

Проаналізувавши графіки з рисунків 3.10 та 3.11, можливо зазначити, що

Перетягнутий ланцюг зв скребками зернового елеватора погіршує якість відцентрового розвантаження зернового потоку.

В нашому випадку такі явища пояснюються тим, що відносно послаблений натяг тягового ланцюга зі скребками у зерновому елеваторі сприяє збільшенню кута відхилення робочої поверхні скребка відносно горизонтальної площини при поступальному русі зернового потоку до початку розвантаження.

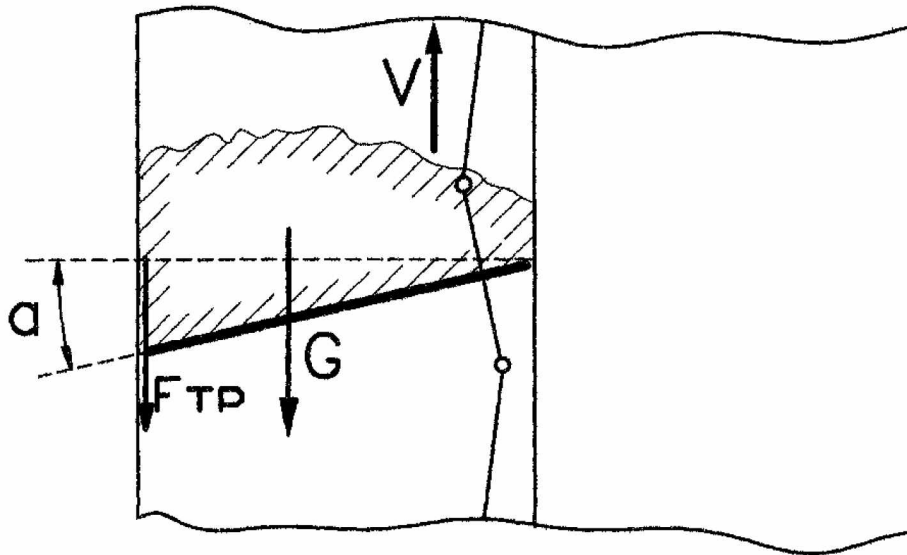


Рисунок 3.12 – Схема, щодо пояснення технічної природи перерозподілу міжскребкової порції зерна за причиною відхилення скребка в процесі поступального руху від горизонтальної поверхні: α – кут, утворений горизонтальною поверхнею та площиною робочої поверхні скребка; $F_{тр}$ – напрям сили тертя між зерном та кожухом зернового елеватора; G – напрям сили тяжіння; V – напрям швидкості руху ланцюга зі скребками.

Така ситуація сприяє накопиченню більшої частини міжскребкової маси зерна біля вершини скребка. І, відповідно, при початку обертального руху інерційні сили більші за рахунок максимально-можливого віддалення від центру обертання. Розвантаження під дією відцентрових сил проходить краще. (рис. 3.12).

Експериментальні значення вимірюваних параметрів, що визначають ступінь взаємодії між утворенням зворотнього осипання частини зернового потоку, швидкістю руху скребків елеватора, зміною значень кута, що

характеризує розвантажувальний сектор на обмолоті комбайном озимої пшениці містить додаток А, а на обмолоті ярого ячменю - містить додаток Б.

Відповідно зазначених результатів, нами побудовано поверхні відгуку – рис. 3.13 та 3.14.

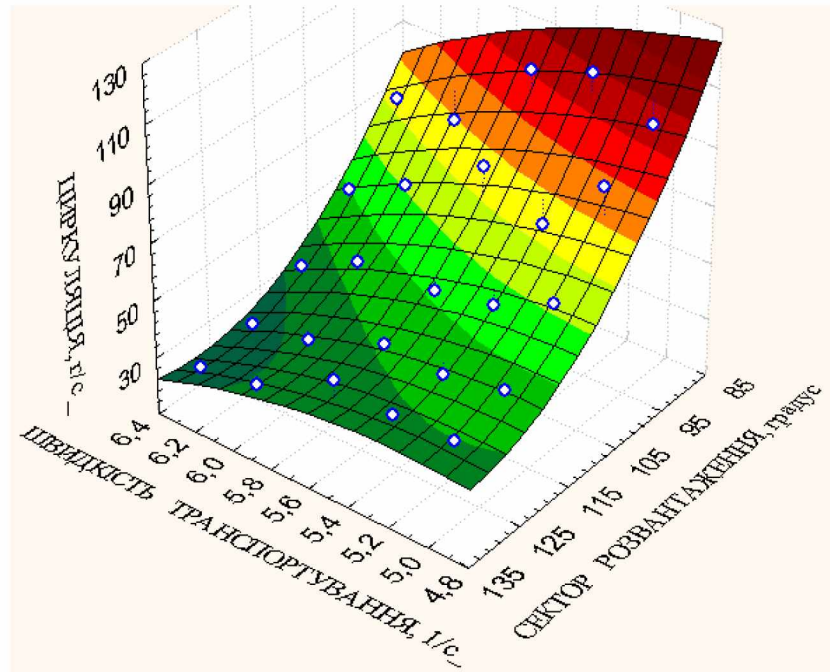


Рисунок 3.13 – Криволінійна поверхня, що визначає ступінь взаємодії між утворенням зворотнього осипання частини зернового потоку, швидкістю руху скребоків елеватора, зміною значень кута, що характеризує розвантажувальний сектор на обмолоті комбайном озимої пшениці.

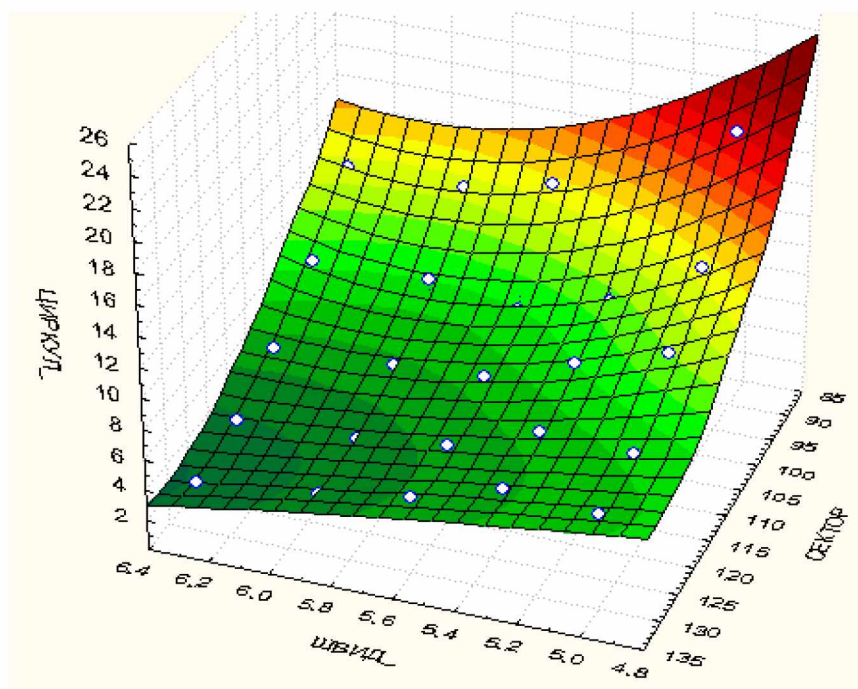


Рисунок 3.14 – Криволінійна поверхня, що визначає ступінь взаємодії між утворенням зворотнього осипання частини зернового потоку, швидкістю руху скребків елеватора, зміною значень кута, що характеризує розвантажувальний сектор на обмолоті комбайном ярого ячменю.

Згідно з отриманими поверхнями відгуку, що подані на рис.3.13 та 3.14, можливо зазначити, що мінімізація колового зворотнього осипання частини зернового потоку основних зернових сільськогосподарських культур можлива за рахунок збільшення градусної міри кута, що характеризує розвантажувальний сектор до 145° . Рекомендована швидкість транспортування зернового потоку відносно частоти обертання верхнього валу елеватора - 362 об/хв.

Згідно з отриманими даними теоретичного та експериментального дослідження дипломної роботи та з урахуванням особливості конструкції зернового скребкового елеватора зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», також нами рекомендовано дообладнати конструкцію верхньої частини зернового елеватора додатковою напямною криволінійною поверхнею (рис.3.15).

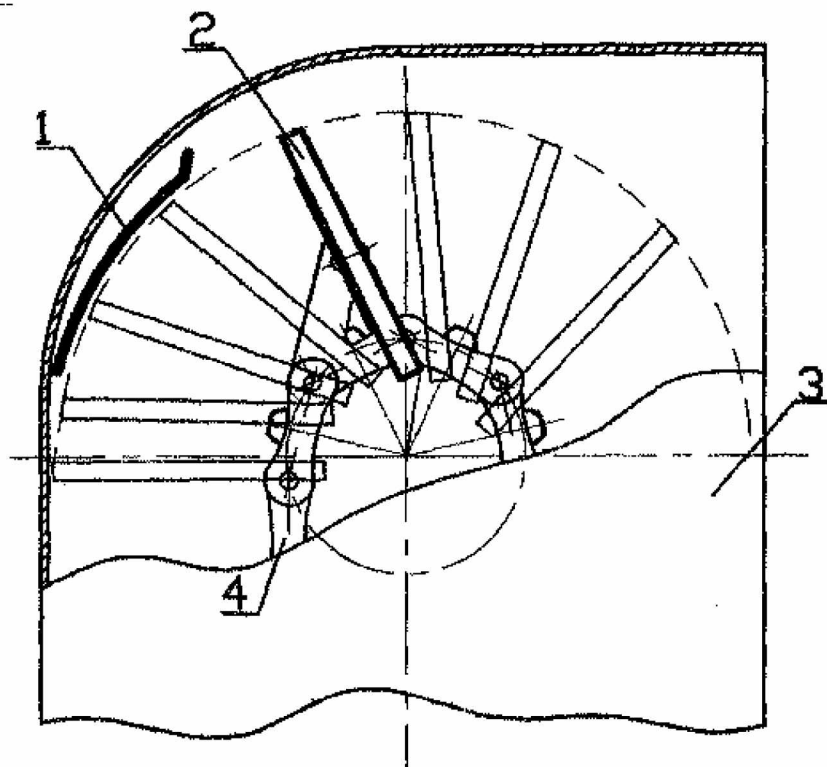


Рисунок 3.15 – Схема дообладнання конструкції верхньої частини зернового елеватора додатковою напрямною криволінійною поверхнею: 1 – додаткова криволінійна поверхня; 2 – скребок; 3 – верхня частина елеватора; 4 – ланцюг зі скребками.

Ще одною пропозицією щодо покращення якості роботи зернового скребкового елеватора шляхом зменшення величини зворотнього осипання, є застосування скребоків особливої конструкції (рис.3.16). Криволінійна робоча поверхня скребка, що пропонована на рис. 3.16 сприяє перерозподілу порції зерна до верхньої частини такої поверхні.

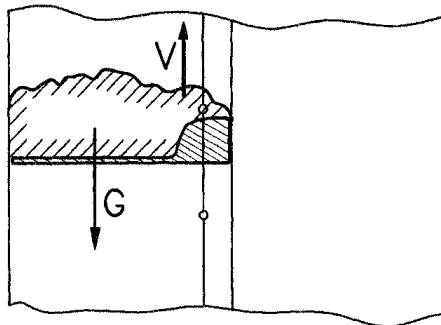


Рисунок 3.16 – Компонувальна схема зі зміненою робочою поверхнею скребка зернового елеватора.

Таким чином, за результатами теоретичних та експериментальних складових нашого наукового дослідження можливо зазначити, що при проведенні пропонованих модернізацій: застосування скребоків особливої конструкції; збільшення градусної міри кута, що характеризує розвантажувальний сектор до 145° , встановлення оптимальної сили натягу ланцюга зі скребками, дообладнання конструкції верхньої частини зернового елеватора додатковою напрямною криволінійною поверхнею, прогнозоване зменшення зворотнього осипання частини зернового потоку в холосту складову скребкового зернового елеватора можливо зменшити на 72...75%.

Позитивним моментом при цьому буде також зменшення дроблення та компресійного травмування зерна, зменшення інтенсивності зношування робочих органів зернового елеватора, зменшення питомої витрати палива на транспортування зернового потоку у бункер комбайна.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Основною метою, щодо проведення екологічної експертизи виступає комплекс організаційно-технічних та технологічних заходів, які спрямовані на прогнозування, оцінювання ступеня шкідливості та попередження негативного впливу від антропогенних дій людини на природне оточуюче середовище та екосистеми, а також оцінки екологічних ситуацій на існуючих виробництвах.

Основними видами екологічної експертизи, що проводиться на Україні, є державна та громадська екологічні експертизи. Заключення державної екологічної експертизи по досліджуванім промисловим об'єктам є обов'язковими до практичного запровадження.

З метою покращення екологічної ситуації по вирощуванню та збиранню зерна ранніх зернових культур, нами пропонуємо:

- Застосування тракторів на гусених рушіях, типу ХТЗ-200, ДТ-75М.
- Застосування по можливості машинно-тракторних агрегатів з великою ширенню захвату сільськогосподарських машин і обладнання, що використовується при вирощуванні та збиранні комплексу зернових та технічних культур у рослинництві.
- Застосування технологій органічного землеробства та технологій стрічкового землеробства.
- застосування комплексного моніторингу полів;
- застосування систем точного землеробства;
- Переїняття досвіду провідних виробників сільськогосподарської техніки, щодо екологічності землеробства та адаптація такого досвіду до умов України. Так, наприклад, використання сучасного зернозбирального комбайна Tribine T-1000 (URL: <https://tribine.com/#top>), (табл.4.1)

Таблиця 4.1 –Технології - лідери, направлені на збереження родючості ґрунту

Tribine T-1000 (URL: https://tribine.com/#top)	
	
<p>Кількість дизельних двигунів - 2 Сумарна потужність двигунів – 650 hp/485 kW Місткість паливного баку – 1893 л Час роботи комбайна без дозаправки – 18 годин Діаметр ротора – 970 мм Ширина похилої камери – 1680 мм Кут обхвату ротора - 270⁰ Площа обмолоту – 2,30 м² Площа сепарації – 2,30 м² Площа очистки – 8,58 м² Місткість зернового бункера – 35,239 м³ Продуктивність вивантажувального шнека бункера – 300 л/с Конструктивна маса – 24,494 кг</p>	
<p>Пріоритетний спосіб розвантаження бункера – вантажний автомобіль на дорозі чи краю поля</p>	
	
<p>Інновації, направлені на органічне землеробство та збереження гумусу – фреза за рушіями для розпушування колії</p>	
<p>United States Patent (10) Patent No.: US 10,231,371 B2 (45) Date of Patent: Mar. 19, 2019</p> 	

який виключає застосування перевантажувальних зерновозів під час збиральних робіт та може бути дооснащений спеціальною фрезою для розпушування колії. Таким чином поле вже готово до застосування стрічкових чи нульових технологій. А така стратегія землеробства направлена на збереження родючості ґрунту та накопичення гумусу.

4.2. Охорона праці

4.2.1 Технічний регламент та вимоги безпеки під час роботи на зернозбиральних комбайнах

Управління зернозбиральними комбайнами як під час переїздів, так і при виконанні технологічного процесу обмолоту зерна ранніх та пізніх зернових та зернобобових культур, можуть здійснювати особи, які пройшли відповідну медичну комісію, досягли вісімнадцятилітнього віку та виконали програму спеціальної професійної теоретичної та практичної підготовки і успішно склали випускні іспити.

Передачу управління зернозбиральними комбайнами стороннім особам заборонено.

Комбайновий екіпаж у разі самостійного виконання частини операцій по технічному обслуговуванню, потрібно забезпечувати відповідними наборами справного сертифікованого слюсарного інструменту.

Додаткове технологічне обладнання зернозбирального комбайна, особливо те, що має гострі краї та може привести до травмування механізаторів та обслуговуючого персоналу, необхідно зберігати в окремих закритих шафах чи ящиках.

Перед початком сезону збиральних робіт екіпаж зернозбирального комбайна та працівників обслуговуючої ланки необхідно забезпечити новим відповідним комплектом спеціального робочого вогнетривкого одягу.

Під час виконання збиральних робіт особливу увагу необхідно приділити організації зони відпочинку, яка повинна бути розташована,

безперечно за межами поля та позначена, добре видними операторам машинно-тракторних і комбайнових агрегатів здалеку, відповідними знаками.

Вживання алкогольних та наркотичних чи психотропних медичних речовин при виконанні операційних технологій збирання врожаю на зернозбиральних комбайнах та під час будь-якого керування зернозбиральними комбайнами заборонено. Порушення такого правила веде до притягнення порушників до кримінальної чи адміністративної відповідальності.

Перед початком робочої зміни бажано пройти огляд у лікаря.

При виявленні недомагання або погіршення самопочуття будь-якого робітника збиральної ланки, виконувани такіми працівниками роботи терміново призупиняють. При цьому необхідно звернутися за лікарською допомогою.

Кожна кабіна зернозбирального комбайна повинна бути укомплектована медичною аптечкою встановленого зразка. Перед збиральними роботами необхідно перевірити не тільки якісно-кількісний склад такої аптечки, алей переконатися у термінах придатності лікарських препаратів.

За раптового погіршення погодних умов роботи як зернозбиральних комбайнів, так і всього збирального комплексу припиняють.

Сільськогосподарська техніка при цьому рекомендується до дообладнання ланцюгами для заземлення.

Рух по місцевості з нерівномірним рельєфом допускається на пониженій передачі.

При проведенні щозмінного технічного обслуговування та перед виїздом комбайнів у поле, необхідно звернути увагу на комплектність та цілісність захисних огорожень, щитків, кожухів.

При відсутності хоча б частини загороджувальних захисних елементів чи їх пошкодженні, зернозбиральний комбайн вважається технічно

несправним і до виконання механізованих технологій з обмолоту зерна не допускається.

Монтажно-демонтажні роботи по встановленню-зняттю коліс зернозбирального комбайна необхідно виконувати за допомогою спеціального пневматичного інструменту з властивостями динамометричних гайковертів.

За відсутністю хоч одної шпильки чи болта, за допомогою якого прикручується колесо до маточини, експлуатація такого зернозбирального комбайна не допускається.

При перевірці технічного стану молотильно-сепарувальних пристроїв молотарки зернозбирального комбайна, необхідно впевнитися у плавності руху останніх.

Безпечна робота щодо обмолоту зернових культур на комбайні не можлива без технічно справних та вірно відрегульованих таких гідравлічних систем:

- гальмівна система зернозбирального комбайна;
- гідравлічна системам рульового управління;
- основна гідравлічна система щодо гідропроводів робочих органів комбайна;
- системи гідростатичного ходу комбайна.

В такому випадку діагностично-налагоджувальні роботи необхідно виконувати за допомогою сервісної служби дилерсько-дистриб'юторської мережі представника того чи іншого брэнда фірми – виробника сільськогосподарської техніки.

На номінальних режимах обертів двигуна при працюючий молотарці необхідно перевірити роботу автоматичної комп'ютерної системи регулювання робочих органів, контролю та сигналізації аварійних режимів роботи.

Рух зернозбирального комбайна починається з подання звукового сигналу.

Очищення робочих органів жнивarki та молотarki зернозбирального комбайна необхідно проводити спеціальним технологічним інструментом чи гаками. Особливу увагу при цьому треба приділяти гострим кромкам деталей і вузлів комбайна - сегментам, граблинам, пальцям.

Виконання буксирувальних робіт зернозбирального комбайна з увімкненим важелем коробки діапазонів заборонено.

В зоні роботи зернозбирального комбайна – поблизу жнивarki або платформи-підбирача або подрібнювача соломи знаходження людей заборонено.

Якщо, під час роботи зернозбирального комбайна виявлено сторонні звуки, стуки, скрежет, підвищене нагрівання підшипникових вузлів, поява диму, то роботу такої машини негайно зупиняють, виявлені несправності необхідно усунути.

Особливу увагу на зернозбиральному комбайні перед виїздом у поле приділяють засобам пожежогасіння. Зернозбиральний комбайн потрібно укомплектувати порошковими вогнегасниками відповідного об'єму, лопатами, мітлами, відрами.

Якщо травмування основного або обслуговуючого персоналу збирального загону таки відбулося, то потерпілих необхідно доправити до медичних закладів, місце виникнення нещасного випадку залишити без змін для об'єктивної роботи спеціальної слідчої комісії.

Після завершення збиральних робіт зернозбиральні комбайни ті інша сільськогосподарська техніка збирального комплексу очищається від бруду, пилу технологічних решток, проводиться відповідне технічне обслуговування та операції з постановки такої сільськогосподарської техніки на зберігання.

Після чого необхідно провести діагностично-дефектувальні роботи та низку організаційно-технічних заходів по підготовці складної зернозбиральної техніки до наступного сезону механізованих збиральних робіт.

4.3. техніко-економічне обґрунтування пропонованого удосконалення зернового елеватора комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

При виконанні дипломної роботи, річний економічний ефект, що очікується, розраховуємо за формулою [33,34]:

$$\mathcal{E} = [(C_{\text{б}} + E_{\text{н}} \times K_{\text{б}}) - (C_{\text{н}} + E_{\text{н}} \times K_{\text{н}})] \times A_{\text{К}}, \quad (4.1.)$$

де \mathcal{E} – Річний економічний ефект, грн.;

$C_{\text{б}}$; $C_{\text{н}}$ – обсяг питомої собівартості за базовими та новими варіантами, грн;
 $K_{\text{б}}$, $K_{\text{н}}$ – значення питомих капіталовкладень в базових та нових варіантах, грн.;

$E_{\text{н}}$ – значення нормативного коефіцієнту ефективності капіталовкладень, $E_{\text{н}} = 0,15$;

$A_{\text{н}}$ – програма використання удосконаленої техніки у плановому періоді.

Приріст прибутку, що планується від впровадження удосконаленої технології [46]:

$$\Delta\Pi(\text{Чд}) = (\text{Ц}_{\text{н}} - \text{С}_{\text{н}}) - A_{\text{н}} - (\text{Ц}_{\text{б}} - \text{С}_{\text{б}}) - A_{\text{б}}, \quad (4.2)$$

де $\Delta\Pi(\text{Чд})$ – приріст прибутку, грн;

$\text{Ц}_{\text{н}}$, $\text{С}_{\text{н}}$ – обсяг питомої собівартість продукції в плановому періоді;

$\text{Ц}_{\text{б}}$, $\text{С}_{\text{б}}$ – обсяг питомої собівартість продукції в базовому варіанті, грн.;

$A_{\text{н}}$, $A_{\text{б}}$ – обсяг нової продукції в плановому періоді;

Очікуване зниження собівартості від впровадження пропонованих удосконалень [46]:

$$\Delta C_{\text{н}} = (C_{\text{б}} - C_{\text{н}}) \times A_{\text{н}}, \quad (4.3)$$

де $\Delta C_{\text{н}}$ – значення планового зниження собівартості, грн.;

$C_{\text{б}}$, $C_{\text{н}}$ – значення собівартості одиниці продукції в базовому, та новому варіанті, грн.; $A_{\text{н}}$ – обсяг виробництва продукції в новому варіанті (у %) [33,34]:

$$\Delta C_{\text{н}} = (C_{\text{б}} - C_{\text{н}}) \times 100\% / C_{\text{б}}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{н}}$, $C_{\text{б}}$ – собівартість одиниці продукції в новому та базовому варіантах.

Прогнозовану економію капітальних вкладень визначають за формулою [46]:

$$\Delta K = (K_b - K_n) \times A_n, \quad (4.5)$$

де ΔK – планова економія капітальних вкладень на розрахунковий період, грн.;

K_n, K_b – питомі капітальні вкладення в новому та базовому періодах.

Термін окупності капітальних вкладень, розраховують за формулами [33,34]:

$$T = K_n / \Pi(\text{Чд})_n; \quad (4.6)$$

$$T_1 = K_{\text{доп}} / \Delta\Pi(\text{Чд})_n, \quad (4.7)$$

де T та T_1 – термін окупності планових та додаткових капітальних вкладень, років;

K_n – обсяг питомих планових капітальних вкладень в новому варіанті, грн.;

$K_{\text{доп}}$ – обсяг додаткових капітальних вкладень в нову техніку, грн.;

$\Pi(\text{Чд})_n$ – цифрове значення планового прибутку від впровадження удосконалень, грн.;

$\Delta\Pi(\text{Чд})_n$ – цифрове значення приросту прибутку в плановому році від реалізації удосконаленої техніки, грн.

Відповідний рівень рентабельності виробництва визначають діленням прибутку в новому варіанті $\Pi(\text{Чд})_n$ до капітальних вкладень (K) [33,34]:

$$U_p = \Pi(\text{Чд})_n \times 100\% / K. \quad (4.8)$$

Цей показник порівнюють з рівнем рентабельності в базовому варіанті.

Підсумковий економічний ефект (ΣE та ΣE_1) [33,34]:

$$\Sigma E = \Sigma \Delta\Pi(\text{Чд}) - E_n \times \Sigma \Delta K; \quad (4.9)$$

$$\Sigma E_1 = \Sigma \Delta C - E_n \times \Sigma \Delta K, \quad (4.10)$$

де $\Sigma \Delta\Pi(\text{Чд})$ – обсяг приросту прибутку або чистого доходу, грн.;

$\Sigma \Delta C$ – обсяг зниження собівартості від усіх заходів, грн.;

$\Sigma \Delta K$ – обсяг капітальних вкладень по новій техніці, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт, що дорівнює 0,15.

Розраховані нами основних економічних показники за описаними формулами, подані у табл.4.2.

Таблиця 4.2 – основні розрахункові показники техніко-економічного обґрунтування прийняття позитивного інженерного рішення по впровадженню модернізованого скребкового зернового елеватора на зернозбиральному комбайні КЗС-9-1 «Славутич»

Показники економічної ефективності	Базовий варіант зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич»	Комбайн КЗС-9-1 «Славутич», що обладнано модернізованим елеватором
Собівартість 1т зерна, грн.	2900	2850
Додаткові капітальні вкладення, грн.	0	7200
Планове річне завантаження одного комбайна, т	1000	1000
Закупівельна ціна (ціна реалізації) 1т зерна, грн.	7000	7000
Зниження собівартості, грн./т		70
Плановий приріст прибутку від зменшення енергетичних витрат на транспортування зерна та зменшення подрібненого зерна, грн./рік		70000
Термін окупності, років		На протязі року
Плановий річний економічний ефект, грн.		48920

За результатами наших розрахунків, що наведені в табл.4.1, отримано: очікуваний річний економічний ефект буде у обсязі 48820 грн.

Така економічна ефективність буде досягнута шляхом значного (до 70%) зменшення частки зернового потоку, що осипається у холосту частину кожуха скребкового зернового елеватора; при цьому також очікується зменшення питомих витрат палива на обмолот зерна.

Відсутність або мінімізація зворотного сипу зерна у холостій частині зернового скребкового елеватора зменшить режими перевантаження зерно-транспортної системи. Така умова є обґрунтуванням відносно збільшення строку використання робочих органів елеватора.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Одною з основних проблем технологічних процесів щодо транспортування врожаю різноманітних сільськогосподарських культур скребковими елеваторами молотильно-сепарувальних систем зернозбиральних комбайнів є проблема подрібнення та компресійного травмування зерна. Яскравим прикладом такого проблемного явища можливо навести взаємодію зернового потоку в елеваторі зернозбирального комбайну з несучими робочими органами: тягово-приводними ланцюгами, приводними зірочками та скребками.
2. Ще одним недоліком у роботі скребкових елеваторів є явища зворотного осипання певної частини зерна, що за декількома причинами не пройшло зону перевантаження чи розвантаження. Це є причиною зменшення паливної економічності зернозбирального комбайна та прискореного зношування транспортної частини робочих органів молотарки.
3. За результатами теоретичного дослідження щодо визначення діапазонів номінальної продуктивності транспортування зерна скребковим елеватором зернозбирального комбайна, розрахункові показники останньої повинні бути в діапазоні від 0,1 кг/с до 5,5 кг/с. Рух зернової маси у внутрішній частині жолоба скребкового елеватора здійснюється окремими частинами, розташованими між скребками елеватора.
4. Конструкційне виконання елементів зерно-транспортної групи зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» наступне: скребковий елеватор для транспортування зерна монтується праворуч відносно боків корпусу молотарки зернозбирального комбайна; нижня частина елеватора інтегрована з горизонтальним зерновим шнеком повітряно-решетної системи очищення; верхня частина скребкового зернового елеватора інтегрована з завантажувальним похилим шнеком бункера.
5. Основні результати теоретичних розрахунків подані у вигляді графіків руху виокремленої частки руху зерна по скребку елеватора в діапазоні

кутової швидкості обертання валу приводної зірочки ланцюга зі скребками від 10 рад/с до 58 рад/с. Умова розвантаження зерна в повному обсязі буде виконана зі збільшеною кутовою мірою розвантажувального сектору з 90° до 145° . Швидкість обертання верхнього валу елеватора: 302...364 об/хв.

6. За результатами експериментальних досліджень можливо зазначити, що мінімізація колового зворотнього осипання частини зернового потоку основних зернових сільськогосподарських культур можлива за рахунок збільшення градусної міри кута, що характеризує розвантажувальний сектор до 145° . Рекомендована швидкість транспортування зернового потоку відносно частоти обертання верхнього валу елеватора - 362 об/хв. Також нами рекомендовано дообладнати конструкцію верхньої частини зернового елеватора додатковою напрямною криволінійною поверхнею.

7. Перед початком сезону збиральних робіт екіпаж зернозбирального комбайна та працівників обслуговуючої ланки необхідно забезпечити новим відповідним комплектом спеціального робочого вогнетривкого одягу.

8. Переїняття досвіду провідних виробників сільськогосподарської техніки, щодо екологічності землеробства та адаптація такого досвіду до умов України. Так, наприклад, використання сучасного зернозбирального комбайна Triline T-1000, який виключає застосування перевантажувальних зерновозів під час збиральних робіт та може бути дооснащений спеціальною фрезою для розпушування колії. Таким чином поле вже готово до застосування стрічкових чи нульових технологій. А така стратегія землеробства направлена на збереження родючості ґрунту та накопичення гумусу.

9. За результатами наших розрахунків, отримано: очікуваний річний економічний ефект буде у обсязі 48820 грн. Така економічна ефективність буде досягнута шляхом значного (до 70%) зменшення частки зернового потоку, що осипається у холосту частину кожуха скребкового зернового елеватора; при цьому також очікується зменшення питомих витрат палива на обмолот зерна.